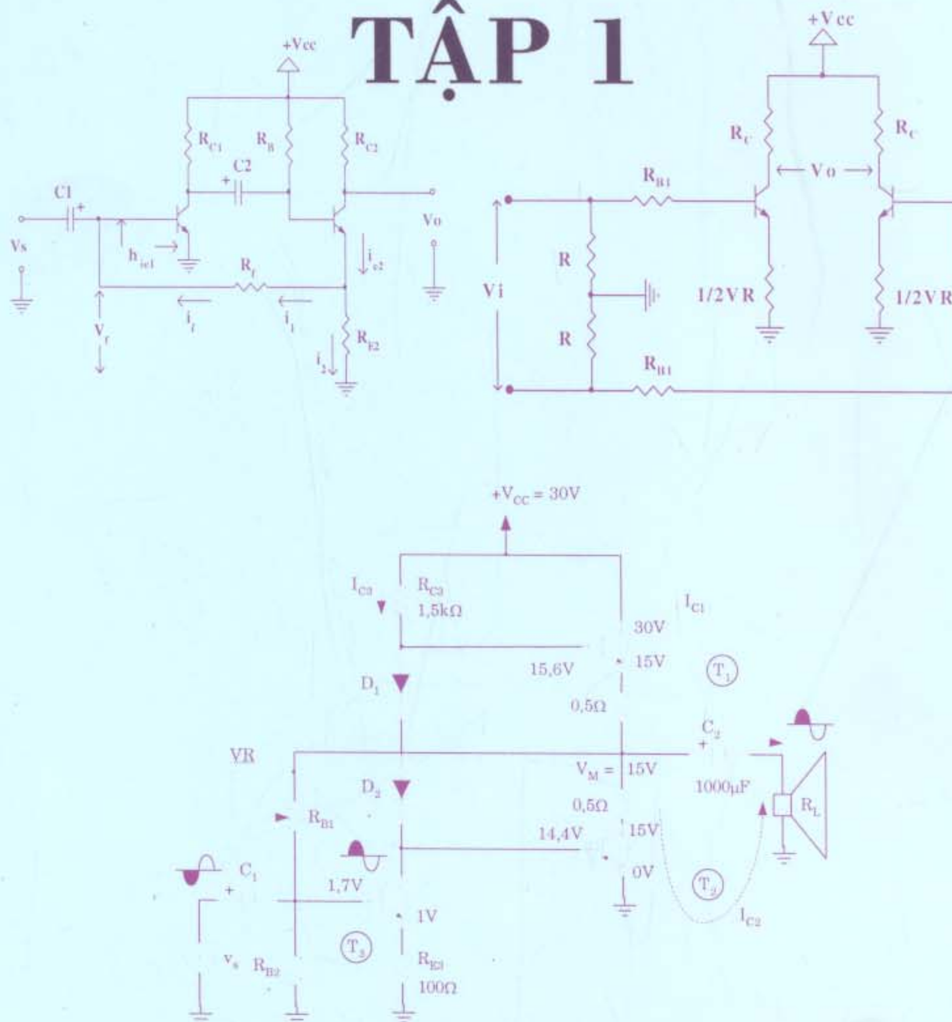


TỦ SÁCH KỸ THUẬT ĐIỆN - ĐIỆN TỬ

ThS NGUYỄN TẤN PHƯỚC

MẠCH ĐIỆN TỬ

TẬP 1



Hình 4.12: Mạch công suất OTL bổ phụ



NHÀ XUẤT BẢN HỒNG ĐỨC

TỦ SÁCH KỸ THUẬT ĐIỆN - ĐIỆN TỬ

ThS NGUYỄN TẤN PHƯỚC

MẠCH ĐIỆN TỬ

TẬP 1



NHÀ XUẤT BẢN HỒNG ĐỨC

TỦ SÁCH KỸ THUẬT ĐIỆN – ĐIỆN TỬ

ThS NGUYỄN TẤN PHƯỚC

MẠCH ĐIỆN TỬ

Tập 1

Chịu trách nhiệm xuất bản: **HOÀNG CHÍ DŨNG**

Biên tập: **HỒNG NAM**

Trình bày: **NGUYỄN PHƯỚC TƯỜNG VÂN**

Bìa: **NGUYỄN TẤN PHƯỚC**

NHÀ XUẤT BẢN HỒNG ĐỨC

111 Lê Thánh Tôn - Q.1 – TP.HCM

ĐT: 08.8244534

☆☆☆☆☆

Thực hiện liên doanh: **NGUYỄN TẤN PHƯỚC**

In lần thứ : 01 Số lượng: 1000 cuốn, Khổ: 16x24cm

Tại nhà in: CÔNG TY IN KHUYẾN HỌC PHÍA NAM, Q.3, Tp.HCM.

GPXB số: 86-2008 / CXB / 55-22 / HĐ ngày 17-6-2008

In xong và nộp lưu chiểu tháng 6 năm 2008

LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình Điện tử kỹ thuật "Mạch điện tử – Tập 1", được xuất bản lần đầu vào năm 1999, đã được giáo viên nhiều trường Đại học, Trung học chuyên nghiệp chọn làm giáo trình giảng dạy chính thức cho sinh viên, học sinh các ngành Kỹ thuật Điện tử.

Điều này do giáo trình được soạn không quá nặng về phần lý luận toán học mà đặt trọng tâm vào phần ứng dụng thực tế và đa dạng hóa các mạch cơ bản, để đáp ứng yêu cầu học tập ngày càng có nhiều môn mới ở các trường Đại học và Trung học chuyên nghiệp – mỗi môn học hiện nay có khuynh hướng giảm số tiết học xuống để có thể học thêm được nhiều môn.

Giáo trình "Mạch điện tử – Tập 2" và "Mạch tương tự" xuất bản sau đó cũng được độc giả đón nhận một cách ưu ái.

Cả ba giáo trình trên cho đến nay đều đã được tái bản nhiều lần. Lần tái bản thứ 6 này giáo trình được thực hiện lại toàn bộ, từ khâu đánh máy đến vẽ sơ đồ mạch, để sửa lại những sai sót trong những lần thực hiện trước.

Tác giả chân thành cám ơn bạn đọc đã có nhiều ý kiến đóng góp để lần tái bản này sách được hoàn thiện hơn.

TP.HCM, tháng 6 năm 2008

Tác giả

GIÁO TRÌNH ĐIỆN TỬ KỸ THUẬT

MẠCH ĐIỆN TỬ – TẬP 1

MỤC LỤC

Chương 1

LÝ THUYẾT CƠ BẢN CỦA MẠCH KHUẾCH ĐẠI

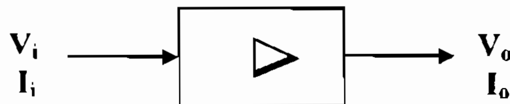
§1.1- ĐỊNH NGHĨA

Trong kỹ thuật, từ "khuếch đại" được định nghĩa là "dùng một năng lượng nhỏ để điều khiển một năng lượng khác lớn hơn gấp nhiều lần. Năng lượng thứ nhất - nhỏ - là năng lượng điều khiển, năng lượng thứ hai - lớn - là năng lượng bị điều khiển".

Từ "khuếch đại" không chỉ được dùng trong lĩnh vực điện tử mà còn được dùng trong các lĩnh vực khác như cơ khí, từ học ... Thí dụ: đòn bẩy là hệ thống khuếch đại cơ khí hay bộ khuếch đại từ ứng dụng trong lĩnh vực điều khiển điện công nghiệp.

Trong lĩnh vực điện tử nhiều linh kiện có tính năng khuếch đại như: transistor lưỡng nối, transistor trường ứng, op-amp ...vì các linh kiện trên nhận năng lượng ở ngõ vào rất nhỏ nhưng có thể điều khiển được năng lượng ở ngõ ra lớn hơn rất nhiều lần. Thí dụ: transistor nhận dòng điện ở ngõ vào là I_B có trị số rất nhỏ nhưng có thể điều khiển dòng điện ở ngõ ra là I_C có trị số lớn hơn I_B hàng trăm lần.

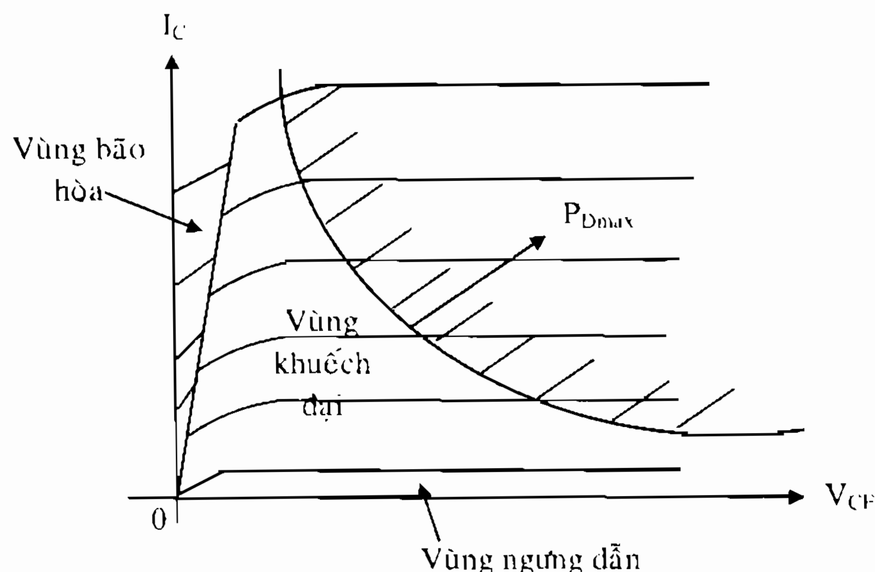
Mạch khuếch đại điện tử có ký hiệu như hình 1.1. Năng lượng ở ngõ vào và ngõ ra thường được gọi là tín hiệu vào và tín hiệu ra. Tín hiệu vào và tín hiệu ra có thể ở dạng điện áp hay cường độ dòng điện và được ký hiệu là V_i, V_O hay I_i, I_O.



Hình 1.1: Ký hiệu của mạch khuếch đại

§1.2- CÁC HẠNG KHUẾCH ĐẠI

Trong giáo trình "Linh kiện điện tử" chúng ta đã có dịp khảo sát ba trạng thái hoạt động của transistor là: trạng thái ngưng dẫn, trạng thái khuếch đại và trạng thái bão hòa (hình 1.2).



Hình 1.2: Ba vùng trạng thái của transistor

Tính toán các điện trở phân cực cho transistor nghĩa là chọn điểm hoạt động tĩnh Q cho transistor đó. Khi có tín hiệu xoay chiều tác động ở ngõ vào thì điểm Q sẽ bị dời chỗ và làm thay đổi các thông số khác của mạch. Dựa vào điểm hoạt động tĩnh Q người ta chia mạch khuếch đại ra các hạng khuếch đại là: hạng A, hạng B, hạng C và hạng AB.

- Hạng A: transistor được phân cực cho điểm hoạt động tĩnh Q ở giữa vùng khuếch đại.

- Hạng B: transistor được phân cực cho điểm hoạt động tĩnh Q ở trong vùng ngưng dẫn.

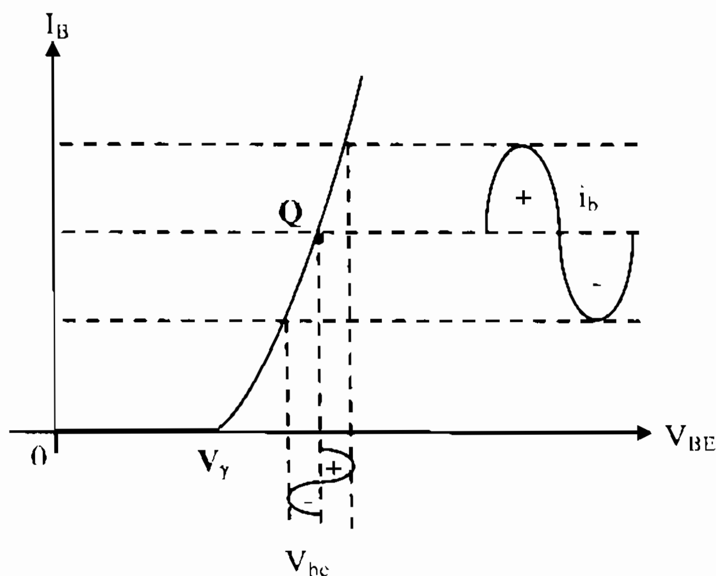
- Hạng C: transistor được phân cực cho điểm hoạt động tĩnh Q nằm sâu trong vùng ngưng dẫn.

- Hạng AB: là một hạng trung gian giữa hạng A và hạng B, transistor sẽ được phân cực cho điểm Q ở giữa vùng khuếch đại và vùng ngưng dẫn.

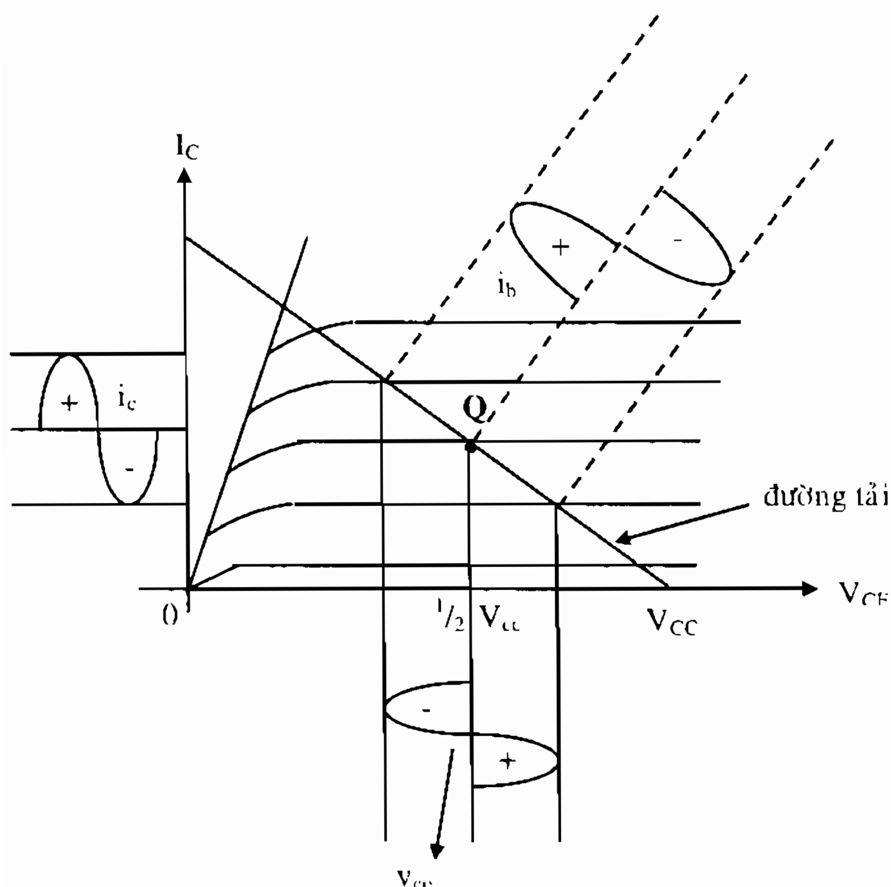
1- Khuếch đại hạng A

Phân tích đặc tuyến ngõ vào I_B/V_{BE} của transistor, mạch khuếch đại hạng A có điểm hoạt động tĩnh Q ở khoảng giữa của đặc tuyến và có V_{BE} = 0,7V cho transistor Si, V_{BE} = 0,2V cho transistor Ge. Khi transistor nhận tín hiệu xoay chiều ở cực B, dòng điện I_B sẽ thay đổi theo tín hiệu xoay chiều này (hình 1.3a).

Phân tích đặc tuyến ngõ ra I_C/V_{CE} của transistor, mạch khuếch đại hạng A có điểm hoạt động tĩnh Q ở giữa đường tải và $V_{CE} = 1/2V_{CC}$. Khi dòng điện I_B thay đổi theo tín hiệu xoay chiều sẽ làm cho dòng điện I_C thay đổi và kéo theo điện áp V_{CE} cũng thay đổi (hình 1.3b).



Hình 1.3a: Đặc tuyến ngõ vào ở hạng A



Hình 1.3b: Đặc tuyến ngõ ra ở hạng A

Các đặc điểm của mạch khuếch đại hạng A là:

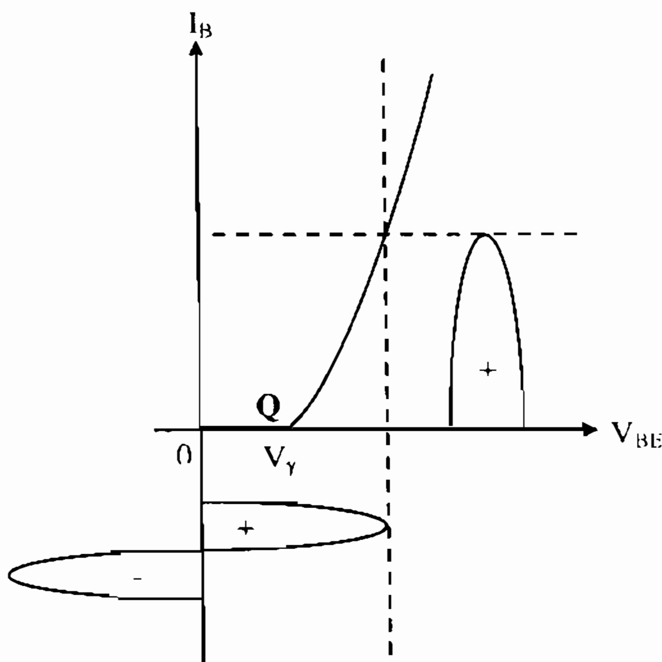
- Khuếch đại trung thực tín hiệu xoay chiều (khuếch đại được cả hai bán kỳ của tín hiệu xoay chiều hình sin).

- Dùng cho các mạch khuếch đại tín hiệu có biên độ nhỏ.

2- Khuếch đại hạng B

Phân tích đặc tuyến ngõ vào I_B/V_{BE}, mạch khuếch đại hạng B có điểm hoạt động tĩnh Q ở điểm $V_{BE} = 0V$ nên $I_B = 0$ và $I_C = 0$. Khi transistor nhận tín hiệu xoay chiều ở cực B thì chỉ có một bán

kỳ được khuếch đại vì phân cực thuận mối nối BE và I_B tăng lên, còn một bán kỳ làm giảm phân cực mối nối BE xuống vùng ngưng dẫn nên không được khuếch đại (hình 1.4a).



Hình 1.4a: Đặc tuyến ngõ vào ở hạng B

Phân tích đặc tuyến ngõ ra I_C/V_{CE}, mạch khuếch đại hạng B có điểm hoạt động tĩnh Q nằm trên đường biên giữa vùng khuếch đại và vùng ngưng dẫn, $V_{CE} \approx V_{CC}$. Khi dòng điện I_B tăng lên theo tín hiệu xoay chiều, dòng điện I_C cũng tăng lên và làm cho điện áp V_{CE} giảm xuống. Ở ngõ ra cũng chỉ có một bán kỳ được khuếch đại (hình 1.4b).

Các đặc điểm của mạch khuếch đại hạng B là:

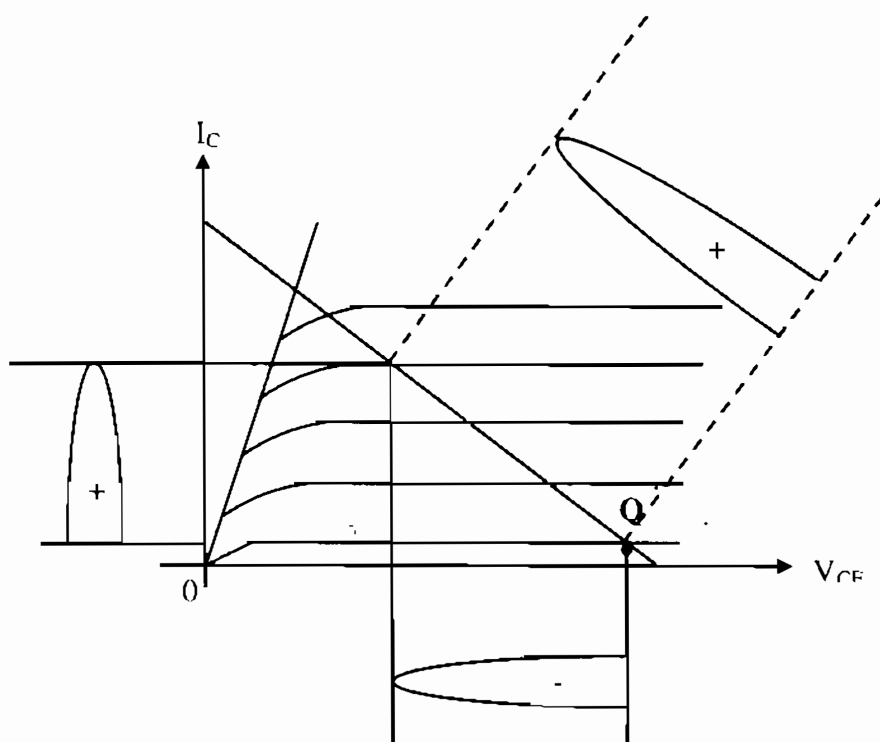
- khi không có tín hiệu, transistor ngưng ($I_B = 0$, $I_C = 0$)

- mỗi transistor chỉ khuếch đại được một bán kỳ nên muốn có đủ nguyên chu kỳ phải dùng hai transistor để khuếch đại luân phiên cho hai bán kỳ.

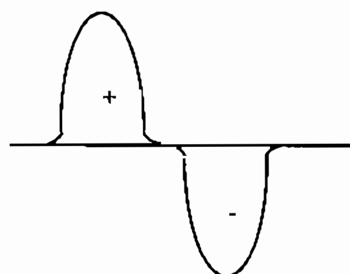
- dùng cho các mạch khuếch đại tín hiệu có biên độ lớn

- hiệu suất cao do công suất điện tiêu thụ nhỏ

- tín hiệu ra bị biến dạng xuyên trục (crossover distortion) (hình 1.4c).



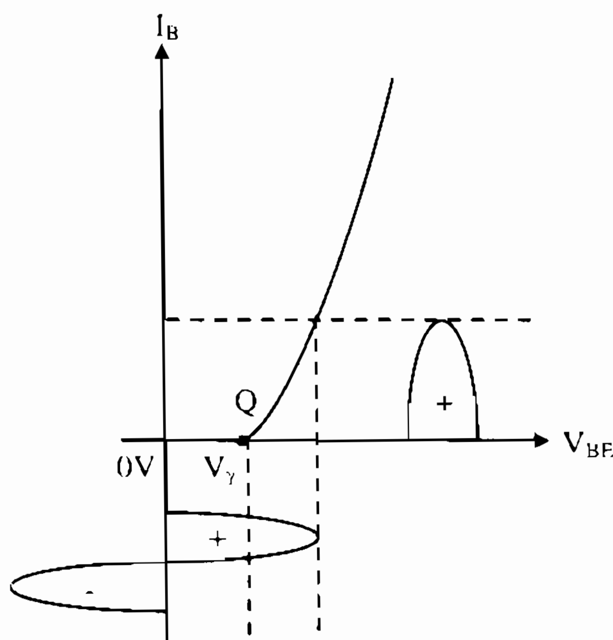
Hình 1.4b: Đặc tuyến ngõ ra ở hạng B



Hình 1.4c: tín hiệu ra bị biến dạng xuyên trục

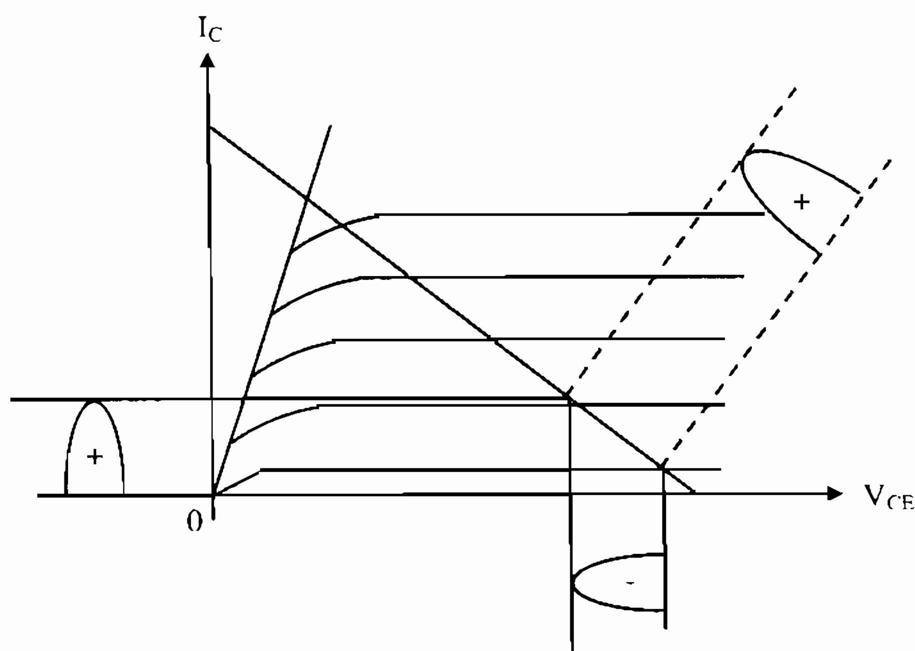
3- Khuếch đại hạng C

Phân tích đặc tuyến ngõ vào I_B/V_{BE}, mạch khuếch đại hạng C có điểm hoạt động tĩnh Q nằm sâu trong vùng ngưng dẫn và có $V_{BE} <= 0V$. Khi transistor nhận tín hiệu xoay chiều ở cực B, nếu tín hiệu xoay chiều có điện áp đỉnh $V_P<V\gamma$ thì transistor cũng chưa dẫn điện được nên không có tín hiệu ra, nếu tín hiệu có điện áp đỉnh $V_P>V\gamma$ thì chỉ có một phần tín hiệu được khuếch đại (hình 1.5a).



Hình 1.5a: Đặc tuyến ngõ vào ở hạng C

Tương tự khi xét đặc tuyến ngõ ra I_C/V_{CE}, chỉ có một phần của bán kỳ dương được khuếch đại và tín hiệu ra bị đảo pha là một phần bán kỳ âm (hình 1.5b).



Hình 1.5b: Đặc tuyến ngõ ra ở hạng C

Các đặc điểm của mạch khuếch đại hạng C là:

- khi không có tín hiệu, transistor không dẫn ($I_B = 0$, $I_C = 0$).

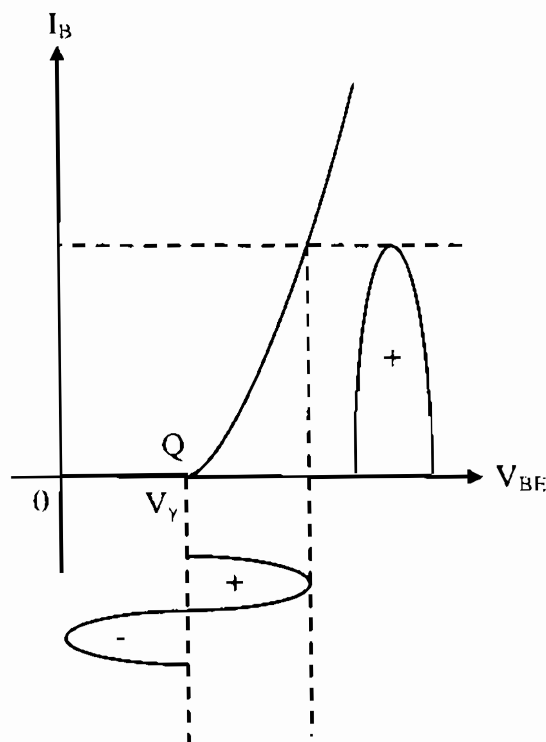
- transistor chỉ khuếch đại được một phần của bán kỳ nên tín hiệu ra bị biến dạng rất lớn.

- mạch khuếch đại hạng C dùng trong mạch cắt bỏ phần dưới của các tín hiệu (mạch cắt gốc) hay trong các mạch dao động, mạch nhân tần số.

4- Khuếch đại hạng AB

Trên đặc tuyến ngõ vào I_B/V_{BE}, mạch khuếch đại hạng AB có điểm hoạt động tĩnh Q ở giữa hạng A và hạng B (ngay điểm thiết đoạn) và có V_{BE} = 0,6V cho transistor Si, V_{BE} = 0,1V cho transistor Ge. Khi transistor nhận tín hiệu xoay chiều ở cực B thì bán kỳ dương được rơi vào vùng gần như tuyến tính nên được

khuếch đại mạnh, bán kỳ âm được rơi vào vùng dưới Vγ nên transistor không dẫn và không có tín hiệu ra (hình 1.6a).



Hình 1.6a: Đặc tuyến ngõ vào ở hạng AB

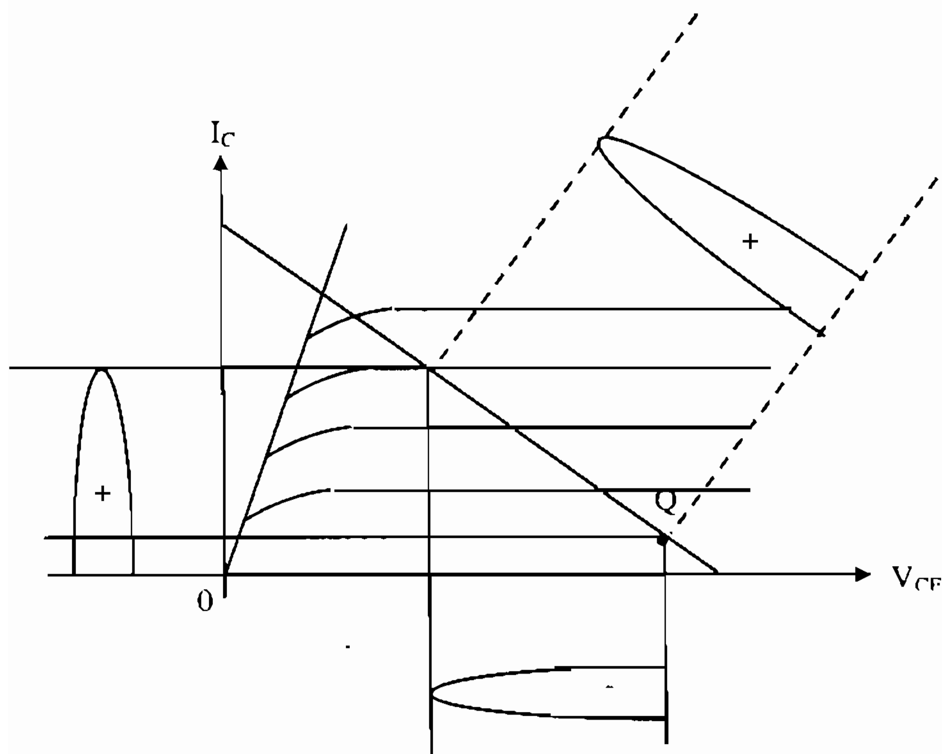
Trên đặc tuyến ngõ ra I_C/V_{CE}, điểm hoạt động tĩnh Q nằm ở vùng gần ngưng dẫn nên $V_{CE} \approx V_{CC}$. Ở điểm này chỉ có bán kỳ dương của tín hiệu được khuếch đại và làm dòng điện I_C tăng lên. Tín hiệu ra bị đảo pha so với tín hiệu vào nên chỉ có bán kỳ âm của tín hiệu ở ngõ ra (hình 1.6b).

Các đặc điểm của mạch khuếch đại hạng AB là:

- khi không có tín hiệu, các dòng điện I_B, I_C có trị số rất nhỏ so với hạng A
- hiệu suất cao do công suất điện tiêu thụ nhỏ
- dùng cho các mạch khuếch đại tín hiệu có biên độ lớn

- mỗi transistor chỉ khuếch đại được một bán kỳ nên muốn có đủ nguyên chu kỳ phải dùng hai transistor để khuếch đại luân phiên cho hai bán kỳ

- tín hiệu ra không bị biến dạng xuyên trục như hạng B.

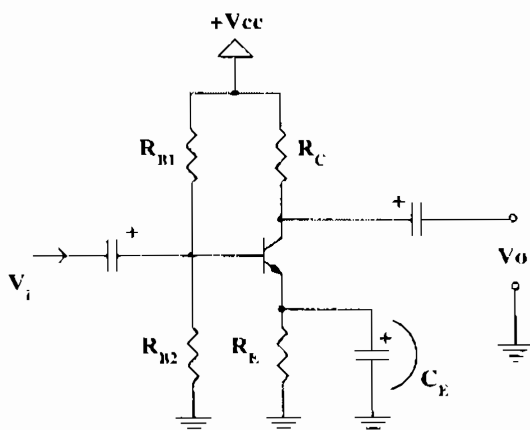


Hình 1.6b: Đặc tuyến ngõ ra ở hạng AB

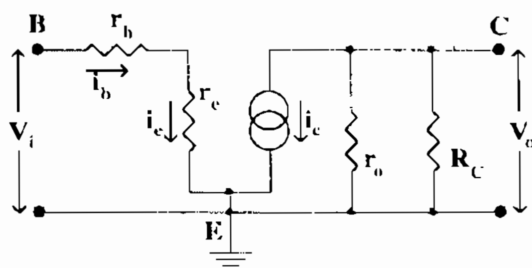
§1.3- BA CÁCH RÁP CĂN BẢN

Mạch khuếch đại dùng transistor có thể được thiết kế theo một trong ba cách căn bản là kiểu E chung, B chung hay C chung.

1- **Mạch khuếch đại kiểu E chung** (CE: Common Emitter)



Hình 1.7a



Hình 1.7b

Sơ đồ hình 1.7a là mạch khuếch đại ráp kiểu E chung, tín hiệu vào ở cực B và ra ở cực C. Ở trạng thái xoay chiều các tụ điện liên lạc và tụ phân dòng C_E có tổng trở rất nhỏ nên coi như bị nối tắt. Hình 1.7b là mạch tương đương của transistor khi ráp kiểu E chung.

Trên mạch tương đương có thể tính các thông số kỹ thuật của mạch:

a) Tổng trở ngõ vào:

$$h_{ie} = r_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{i_b r_b + i_e r_e}{i_b} = \frac{i_b r_b + \beta i_b r_e}{i_b}$$

$$h_{ie} = r_b + \beta r_e \qquad (\approx \text{vài k}\Omega)$$

b) Tổng trở ngõ ra: $r_o \approx$ *vài chục kΩ đến vài trăm kΩ.*

Do r_o có trị số rất lớn nên nhiều trường hợp có thể bỏ qua r_o.

c) Độ khuếch đại dòng điện:

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_c}{i_b} \approx \beta = h_{fe}$$

$$A_i = \beta = h_{fe} \qquad (\approx \text{vài chục đến vài trăm lần})$$

d) Độ khuếch đại điện áp:

$$A_v = \frac{v_{ce}}{v_{be}} = -\frac{i_c R_C}{i_b r_i} = -\frac{\beta i_b R_C}{i_b h_{ie}}$$

$$A_v = -\beta \frac{R_C}{h_{ie}} \qquad (\approx \text{vài trăm lần})$$

e) Góc pha: điện áp của tín hiệu vào và ra đảo pha nhau

2- **Mạch khuếch đại ráp kiểu B chung** (CB: Common Base)

Sơ đồ hình 1.8a là mạch khuếch đại ráp kiểu B chung, tín hiệu vào ở cực E và ra ở cực C. Ở trạng thái xoay chiều, các tụ điện liên lạc và tụ điện phân dòng C_B có tổng trở rất nhỏ nên được coi như nối tắt. Hình 1.8b là mạch tương đương của transistor ráp kiểu B chung.

Các thông số kỹ thuật của mạch được tính như sau:

a) Tổng trở ngõ vào:

$$r_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{i_b r_b + i_e r_e}{i_e} = \frac{i_b r_b + \beta i_b r_e}{\beta i_b} = \frac{r_b + \beta r_e}{\beta}$$

b) Tổng trở ngõ vào:

$$r_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{i_b r_b + i_e r_e}{i_e} = \frac{i_b r_b + \beta i_b r_e}{\beta i_b} = \frac{r_b + \beta r_e}{\beta}$$

$$r_i = \frac{h_{ie}}{\beta} \qquad (\approx \text{vài chục } \Omega)$$

c) Tổng trở ngõ ra:

$$r_o = \frac{v_o}{i_o} = \frac{v_c}{i_c}$$ *(≈ vài trăm kΩ vì BC phân cực ngược)*

d) Độ khuếch đại dòng điện:

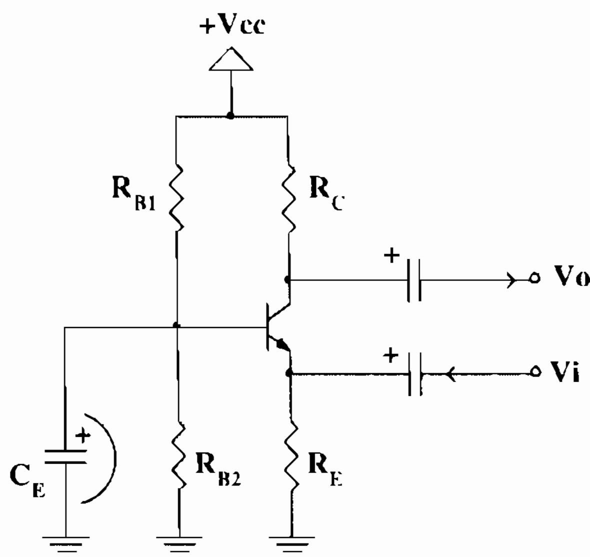
$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_c}{i_e} = \frac{\beta i_b}{(\beta+1)i_b} = \frac{\beta}{\beta+1} \approx 1$$

e) Độ khuếch đại điện áp:

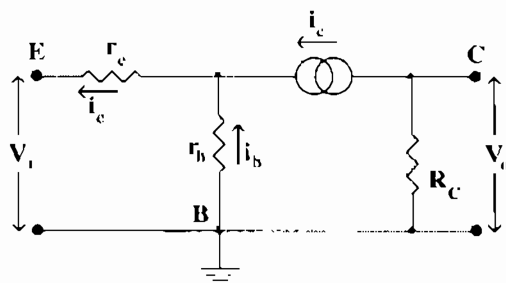
$$A_v = \frac{v_{cb}}{v_{eb}} = -\frac{i_c R_C}{i_e r_i} = \frac{R_C}{\frac{h_{ie}}{\beta}} = \frac{\beta R_C}{h_{ie}}$$

$$A_v = \beta \frac{R_C}{h_{ie}}$$ *(≈ vài trăm lần)*

f) Góc pha: điện áp của tín hiệu vào và ra đồng pha nhau



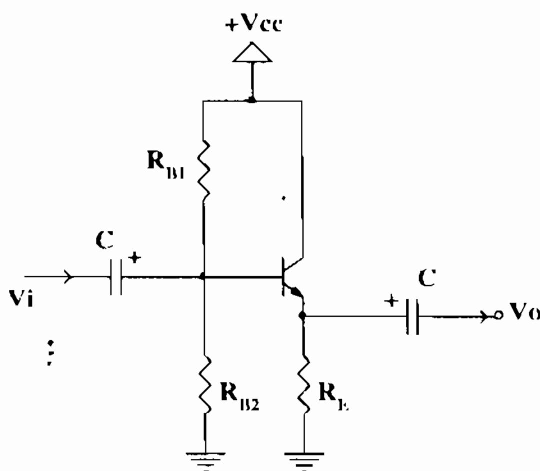
Hình 1.8a



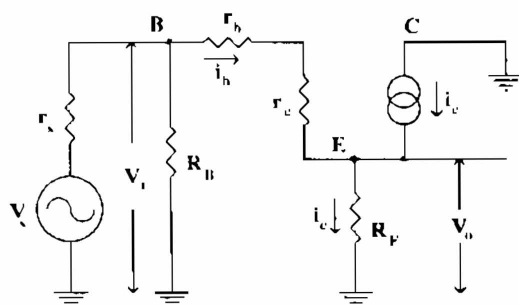
Hình 1.8b

3- Mạch khuếch đại ráp kiểu C chung (Common Collector)

Sơ đồ hình 1.9a là mạch khuếch đại ráp kiểu C chung, trong đó cực C được nối thẳng lên nguồn $+V_{CC}$ và nguồn $+V_{CC}$ được gọi là mass đối với xoay chiều, vì có tụ lọc nguồn rất lớn. Hình 1.9b là mạch tương đương của transistor khi ráp kiểu C chung.



Hình 1.9a



Hình 1.9b

Các thông số kỹ thuật của mạch được tính như sau:

a) Tổng trở ngõ vào:

$$r_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{i_b r_b + i_e r_e + i_e R_E}{i_b}$$

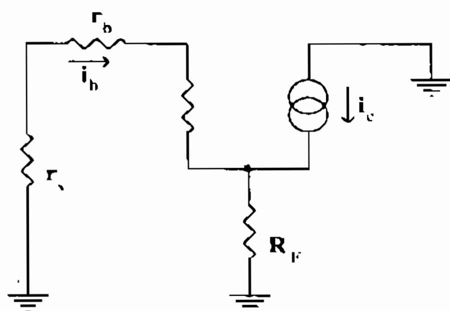
$$r_i = r_b + \beta r_e + \beta R_E$$

$$r_i = h_{ie} + \beta R_E \qquad (\approx \text{vài trăm } k\Omega)$$

b) Tổng trở ngõ ra:

Điện trở R_B là điện trở tương đương của cầu phân áp R_{B1} song song R_{B2}.

Khi đứng từ ngõ ra nhìn vào transistor, ta thấy điện trở R_B song song nội trở của nguồn r_s. Thường điện trở R_B rất lớn so với r_s nên điện trở tương đương của R_B song song r_s cũng chính là r_s. Mạch tương đương như hình 1.9c.



Hình 1.9c

Tổng trở ngõ ra là: $r_o = \dfrac{v_o}{i_o} = \dfrac{v_e}{i_e}$

Theo mạch tương đương, các điện trở r_s, r_b, và βr_e ghép nối tiếp nhau và song song với điện trở tải R_E.

Ta có: $v_e = i_e R_E = i_b(r_s + r_b + \beta r_e)$

Suy ra: $r_o = \dfrac{v_e}{i_e} = \dfrac{i_b(r_s + r_b + \beta r_e)}{\beta i_b} = \dfrac{r_s + r_b + \beta r_e}{\beta}$

$r_o = \dfrac{r_s + r_b}{\beta} + r_e$ hay $r_o = \dfrac{r_s + h_{ie}}{\beta}$ *(≈ vài chục Ω)*

c) Độ khuếch đại dòng điện:

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_e}{i_b} = \frac{(\beta + 1)i_b}{i_b} \text{ hay } A_i = \beta + 1$$

d) Độ khuếch đại điện áp:

$$A_v = \frac{v_o}{i_o} = \frac{v_e}{v_b} = \frac{i_e R_E}{i_b r_b + i_e r_e + i_e R_E} = \frac{\beta R_E}{r_b + \beta r_e + \beta R_E}$$

$A_v \approx 1$ (vì $r_b + \beta r_e << \beta R_E$)

e) *Góc pha:* khi V_B tăng làm I_B tăng và I_E tăng nên V_E cũng tăng theo, do đó điện áp của tín hiệu vào và ra đồng pha nhau.

§1.4- BẢNG SO SÁNH CÁC THÔNG SỐ THEO BA CÁCH RÁP

Mạch khuếch đại dùng transistor ở mỗi cách ráp E chung, B chung hay C chung đều có những thông số kỹ thuật khác nhau nên sẽ được ứng dụng để đáp ứng những yêu cầu kỹ thuật khác nhau. Ví dụ:

1- Mạch khuếch đại ráp kiểu E chung có độ khuếch đại mạnh nhất vì A_v và A_i đều có trị số lớn.

2- Mạch khuếch đại B chung có tổng trở vào r_i rất nhỏ và tổng trở ra r_o rất lớn nên dùng để đổi tổng trở từ nhỏ ra lớn.

3- Mạch khuếch đại ráp kiểu C chung có tổng trở vào r_i rất lớn và tổng trở ra r_o rất nhỏ nên dùng để đổi tổng trở từ lớn ra nhỏ.

Cách ráp / Thông số	E chung	B chung	C chung
Tổng trở ngõ vào r_i	$h_{ie} = r_b + \beta r_e$ (vài kΩ)	$r_i = \frac{h_{ie}}{\beta}$ (vài chục Ω)	$r_i = h_{ie} + \beta R_E$ (vài trăm kΩ)
Tổng trở ngõ ra r_o	Vài chục kΩ	Vài trăm kΩ	$r_o = \frac{r_s + h_{ie}}{\beta}$ (vài chục Ω)
Độ khuếch đại dòng điện A_i	$A_i = \beta = h_{fe}$ (vài chục –vài trăm)	$A_i \approx 1$	$A_i = \beta + 1$ (vài chục – vài trăm)
Độ khuếch đại điện áp A_v	$A_v = -\beta \frac{R_C}{h_{ie}}$ (vài trăm lần)	$A_v = \beta \frac{R_C}{h_{ie}}$ (vài trăm lần)	$A_v \approx 1$
Góc pha giữa tín hiệu vào và ra	Đảo pha	Đồng pha	Đồng pha

§1.5- CÁC KIỂU GHÉP TẦNG KHUẾCH ĐẠI

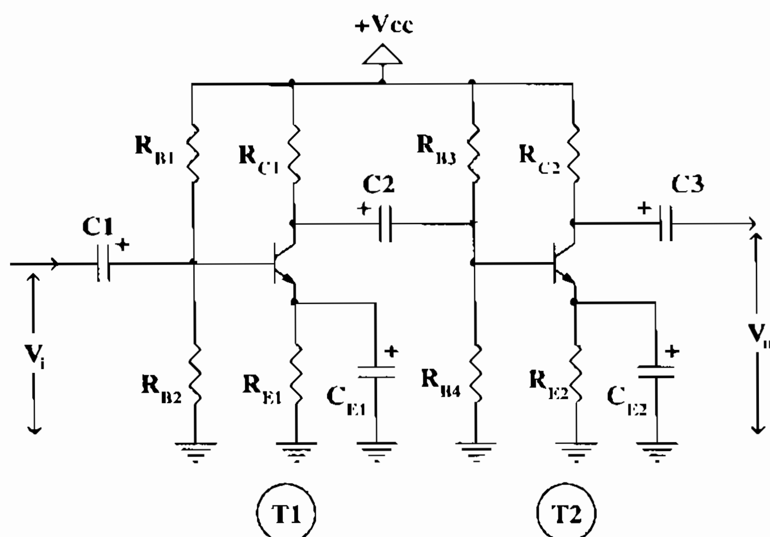
Mỗi thiết bị điện tử thường có nhiều mạch khuếch đại ghép liên tiếp nhau, mỗi mạch có thể dùng một hay nhiều transistor để thực hiện một nhiệm vụ riêng được gọi là một tầng khuếch đại. Để ghép liên tiếp nhiều tầng khuếch đại người ta thường dùng một trong ba cách ghép là:

- Ghép bằng tụ điện liên lạc
- Ghép bằng biến áp
- Ghép bằng cách nối trực tiếp

1- Ghép tầng bằng tụ điện liên lạc

Sơ đồ hình 1.10a là mạch khuếch đại hai tầng dùng transistor kiểu cực E chung được ghép liên tiếp nhau. Tụ điện C_1 là tụ liên lạc từ nguồn tín hiệu vào transistor T_1, tụ điện C_2 là tụ điện

liên lạc từ T_1 sang T_2 và tụ điện C_3 là tụ liên lạc từ T_2 sang tầng sau hay ra tải.



Hình 1.10a

Các tụ liên lạc có trị số tuỳ thuộc vào tần số của tín hiệu, đối với âm tần thì tụ liên lạc thường có trị số từ 1μF đến 10μF. Các tụ phân dòng C_E có trị số tuỳ thuộc điện trở R_E và thường được chọn từ 25μF đến 50μF.

Ở trạng thái xoay chiều, các mạch khuếch đại hạ tần được tính toán với tần số qui ước là f = 1kHz.

Ta có:

$R_1 = R_{B1} // R_{B2}$, $R_2 = R_{B3} // R_{B4}$

h_{ie1}: tổng trở vào của T_1

h_{ie2}: tổng trở vào của T_2.

Dung kháng của tụ điện liên lạc là:

$$X_{C1} = X_{C2} = X_{C3} = \frac{1}{2\pi f C_1} \qquad \text{(chọn } C_1 = 10\mu F\text{)}$$

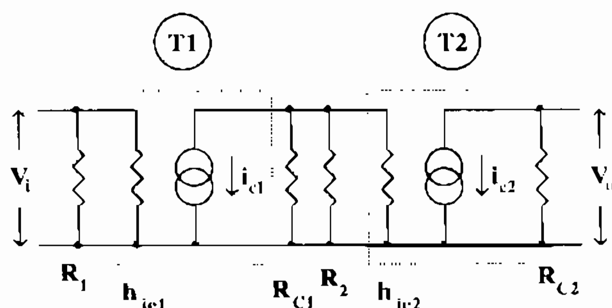
$$X_{C1} = \frac{1}{2.3{,}14.10^3.10.10^{-6}} = 16\Omega$$

Dung kháng của tụ điện phân dòng C_E là:

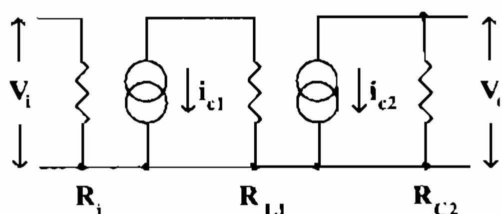
$$X_{CE} = \frac{1}{2.3{,}14.10^3.50.10^{-6}} \approx 3{,}2\Omega \qquad (\text{chọn } C_E = 50\mu F)$$

Các trị số dung kháng rất nhỏ so với các điện trở trong mạch nên được coi như nối tắt. Sơ đồ hình 1.10b là mạch tương đương ở trạng thái xoay chiều của mạch khuếch đại hai tầng hình 1.10a.

Từ đó sơ đồ mạch tương đương hình 1.10b có thể vẽ lại với sơ đồ đơn giản hơn như hình 1.10c.



Hình 1.10b



Hình 1.10c

$R_i = R_1 // h_{ie1}$ $\qquad$ $R_{L1} = R_{C1} // R_2 // h_{ie2}$

Với sơ đồ hình 1.10c, việc tính các thông số của mạch sẽ đơn giản hơn.

Các cách ghép tầng bằng tụ liên lạc có ưu điểm là việc tính toán trạng thái một chiều cho các transistor độc lập nhau.

2- Ghép tầng bằng biến áp

Sơ đồ mạch hình 1.11a là hai tầng khuếch đại dùng transistor ráp kiểu E chung. Biến áp TR_1 dùng để ghép giữa hai tầng là biến áp có tỉ số vòng dây sơ cấp và thứ cấp là n_1/n_2.

Đối với các biến áp, tổng trở giữa sơ và thứ cấp được tính theo công thức:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \qquad \text{(hình 1.11b)}$$

Như vậy tổng trở tải ở thứ cấp được qui đổi về sơ cấp là:

$$Z_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 Z_2$$

Đối với biến áp TR_1, tải ở thứ cấp là tổng trở ngõ vào của transistor T_2 (h_{ie2}). Đối với biến áp TR_2, tải ở thứ cấp là Z_L

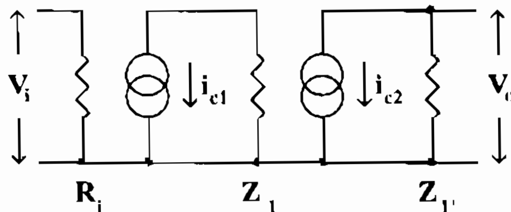
Biến áp TR_1 có tổng trở qui đổi về sơ cấp là:

$$Z_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 h_{ie2}$$

Biến áp TR_2 tổng trở qui đổi về sơ cấp là:

$$Z_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 Z_L$$

Sơ đồ hình 1.11a có mạch tương đương như hình 1.11c.

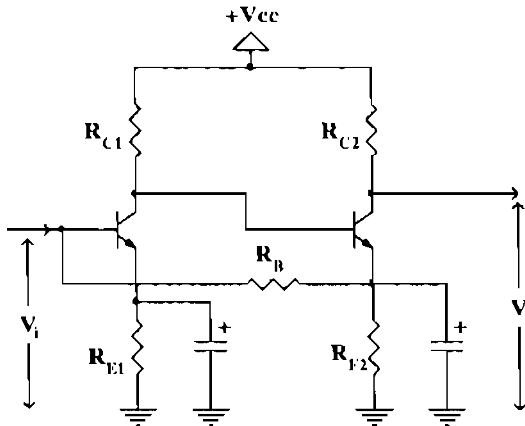


Hình 1.11c

Ở ngõ ra với điện áp v_o và dòng điện i_{c2} ta có thể tính được điện áp V_L và dòng điện I_L trên tải.

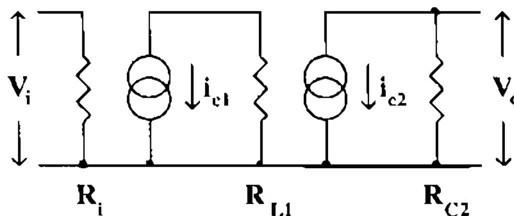
Cách ghép tầng bằng biến áp có ưu điểm là việc tính toán trạng thái một chiều cho các transistor độc lập nhau, đồng thời có thể dung hợp tổng trở giữa các khối nhờ tỉ lệ của các bộ biến áp.

4- Ghép tầng trực tiếp



Hình 1.12a

Sơ đồ mạch hình 1.12a là hai tầng khuếch đại dùng transistor ghép trực tiếp. Theo cách ghép này, hai transistor sẽ phân cực lẫn nhau theo nguyên lý hồi tiếp âm để ổn định nhiệt mà không dùng cầu phân áp ở cực B. Cách tính điện áp một chiều và nguyên lý hồi tiếp âm một chiều để ổn định nhiệt sẽ được phân tích chi tiết trong chương "Mạch khuếch đại DC".



Hình 1.12b

Sơ đồ hình 1.12b là mạch tương đương của hai transistor T_1 – T_2 ghép trực tiếp, trong đó, R_i là tổng trở tương đương của R_B song song với h_{ie1}, R_{L1} là tổng trở tương đương của R_{C1} song song với h_{ie2}.

Cách ghép tầng trực tiếp có ưu điểm là mạch điện đơn giản, do bớt được tụ điện liên lạc và điện trở cầu phân áp, độ ổn định nhiệt của mạch rất tốt nhờ hồi tiếp âm một chiều, băng thông rộng do không dùng tụ.

§1.6- MẠCH KHUẾCH ĐẠI HỒI TIẾP

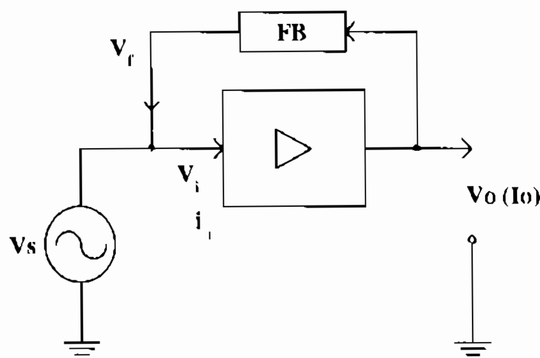
1- Định nghĩa

Mạch hồi tiếp là mạch lấy một phần năng lượng ở ngõ ra đưa về cung cấp cho ngõ vào.

Trong sơ đồ hình 1.13 mạch hồi tiếp được ký hiệu bằng chữ FB do chữ "Feed Back". Điện áp của nguồn tín hiệu điều khiển là v_s, tín hiệu ngõ có thể là dạng điện áp v_i hay dạng dòng điện i_i, tín hiệu ngõ ra là v_o hay i_o, điện áp lấy ra sau mạch hồi tiếp là v_f.

Trường hợp mạch khuếch đại không có hồi tiếp –còn gọi là mạch khuếch đại vòng hở – thì độ khuếch đại điện áp được định nghĩa là:

$$A_{VO} = \frac{v_o}{v_s} \approx \frac{v_o}{v_i}$$



Hình 1.13

Mạch hồi tiếp FB có điện áp vào là v_o, điện áp ra là v_f. Hệ số hồi tiếp định nghĩa là:

$$b = \frac{v_f}{v_o} \qquad \Rightarrow \qquad v_f = bv_o$$

Trường hợp khuếch đại có hồi tiếp thì độ khúêch đại điện áp hồi tiếp được định nghĩa:

$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_s} \qquad \text{trong đó: } v_i = v_s + v_f \quad \Rightarrow \quad v_s = v_i - v_f$$

Suy ra: $$A_{vf} = \frac{v_o}{v_i - v_f}$$

2- Phân loại

a) Theo tác dụng khuếch đại:

- Hồi tiếp dương là mạch có tác dụng làm tăng độ khuếch đại. Trường hợp này ta có: $A_{vf} > A_{vo}$.

- Hồi tiếp âm là mạch có tác dụng làm giảm độ khuếch đại. Trường hợp này ta có: $A_{vf} < A_{vo}$.

b) Theo dạng tín hiệu:

- Hồi tiếp điện áp là mạch lấy điện áp ra v_o để tạo điện áp hồi tiếp v_f đưa trở lại ngõ vào.

- Hồi tiếp dòng điện là mạch lấy dòng điện ra i_o để tạo điện áp hồi tiếp v_f đưa trở lại ngõ vào.

c) Theo cách ghép:

- Hồi tiếp song song là khi điện áp nguồn tín hiệu v_s và điện áp hồi tiếp v_f ghép song song nhau Nói cách khác, hồi tiếp song song là khi hai tín hiệu v_s và v_f cùng đưa vào một cực của transistor.

Trường hợp này ta có: $v_i = v_s + v_f \quad \rightarrow \quad v_s = v_i - v_f$

- Hồi tiếp nối tiếp là khi điện áp nguồn tín hiệu v_s và điện áp hồi tiếp v_f ghép nối tiếp nhau. Nói cách khác, hồi tiếp nối tiếp là khi hai tín

hiệu v_s và v_f đưa vào hai cực khác nhau của một transistor. Thí dụ: v_s đưa vào cực B còn v_f đưa vào cực E của transistor.

Trường hợp này ta có: $v_i = v_s - v_f \quad \rightarrow \quad v_s = v_i + v_f$

Mạch hồi tiếp có tên gọi đầy đủ gồm cả ba phần theo ba cách phân loại trên. Thí dụ: mạch hồi tiếp âm dòng điện ghép nối tiếp, hồi tiếp âm điện áp ghép song song.

Việc tính toán, phân tích nguyên lý của các kiểu khuếch đại hồi tiếp sẽ được nói rõ trong chương "Khuếch đại hồi tiếp".

§1.7- CÁCH TÍNH HỆ SỐ ỔN ĐỊNH NHIỆT

Các thông số của transistor đều bị thay đổi theo nhiệt độ, trong đó có ba thông số chịu ảnh hưởng lớn nhất là dòng điện rỉ I_{CBO}, độ khuếch đại β và điện áp phân cực V_{BE}.

Để tránh ảnh hưởng của nhiệt độ lên các thông số của transistor có thể làm sai điểm làm việc tĩnh Q, người ta dùng nhiều cách phân cực cho transistor, mỗi cách phân cực có tác dụng và hiệu quả ổn định nhiệt khác nhau. Để đặc trưng cho tác dụng và hiệu quả ổn định nhiệt, người ta định nghĩa hệ số ổn định nhiệt là:

$$S = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CBO}}$$

S: stability (độ ổn định)

S : phủ định của S

S còn được gọi là "độ bất ổn định". Cách gọi này hợp lý hơn vì theo định nghĩa S càng nhỏ thì mạch càng ổn định về nhiệt độ, nghĩa là S càng nhỏ thì "độ bất ổn định càng thấp".

Công thức tổng quát để tính hệ số ổn định nhiệt S là:

$$S = \frac{q}{q - \alpha}$$

trong đó: q là hệ số tuỳ thuộc cách phân cực cho transistor

α là hệ số khuếch đại dòng điện ráp kiểu B chung $\alpha = \dfrac{I_C}{I_E} = \dfrac{\beta}{\beta + 1}$

Hệ số q được xác định theo cách phân cực trình bày trong bảng mạch thiết kế mẫu sau:

+ Xét mạch phân cực hình 1.14a, hệ số ổn định nhiệt là:

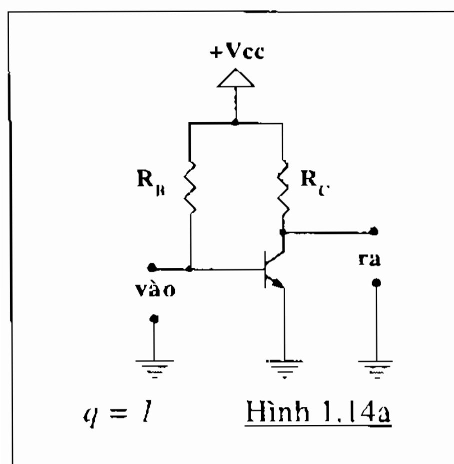
$$S = \frac{q}{q - \alpha} = \frac{1}{1 - \alpha} = \frac{1}{1 - \dfrac{\beta}{\beta + 1}} = \beta + 1$$

Đây là hệ số ổn định nhiệt kém nhất vì β lớn khoảng vài trăm.

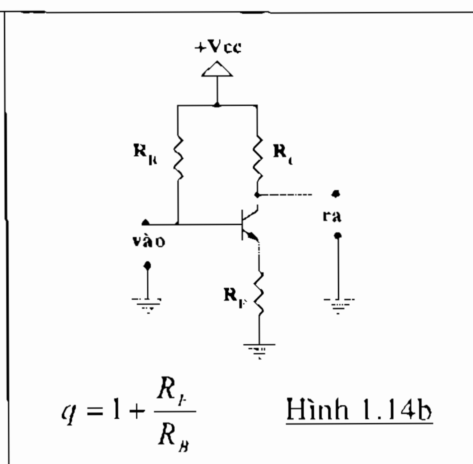
+ Xét mạch phân cực hình 1.14b, hệ số ổn định nhiệt là:

$$S = \frac{q}{q - \alpha} = \frac{1 + \dfrac{R_E}{R_B}}{1 + \dfrac{R_E}{R_B} - \alpha} = \frac{1 + \dfrac{R_E}{R_B}}{1 - \alpha + \dfrac{R_E}{R_B}}$$

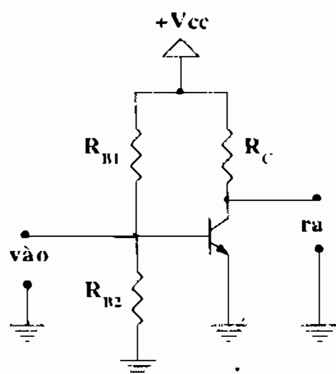
Nếu transistor có β lớn thì 1- $\alpha \approx 0$. Do đó: $S = \dfrac{1 + \dfrac{R_E}{R_B}}{\dfrac{R_E}{R_B}}$



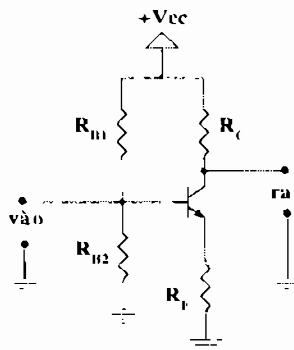
$q = 1$ Hình 1.14a



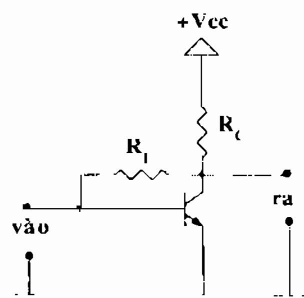
$q = 1 + \dfrac{R_E}{R_B}$ Hình 1.14b



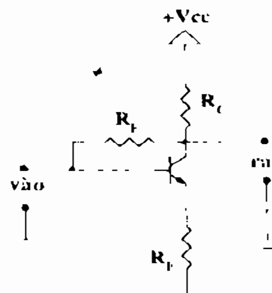
$q = 1$ Hình 1.14c



$q = 1 + \frac{R_E}{R_{B1} // R_{B2}}$ Hình 1.14d



$q = 1 + \frac{R_C}{R_F}$ Hình 1.14e



$q = 1 + \frac{R_E + R_C}{R_B}$ Hình 1.14f

Thường thì $R_E << R_B$ $\Rightarrow$ $\frac{R_E}{R_B} << 1$ nên:

$$S = \frac{1}{\frac{R_E}{R_B}} = \frac{R_B}{R_E}$$

Như vậy hệ số ổn định nhiệt S tỉ lệ nghịch với R_E. Nếu R_E lớn thì S nhỏ và mạch ổn định nhiệt tốt.

Chương 2

MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

§2.1- ĐẠI CƯƠNG

Transistor là linh kiện có tính năng khuếch đại điện áp và khuếch đại dòng điện nên vai trò của transistor rất quan trọng trong các thiết bị điện tử.

Transistor là linh kiện phi tuyến nhưng khi xét trong phạm vi biến thiên nhỏ thì mức độ phi tuyến ảnh hưởng không lớn nên có thể xem như mạch tuyến tính. Trong các mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ, transistor được vẽ thành mạch tương đương gồm cỡ các điện trở và nguồn dòng điện để có thể tính toán và phân tích nguyên lý theo lý thuyết của mạch tuyến tính.

Việc tính toán, phân tích mạch khuếch đại dùng transistor gồm các phần:

1) Tính toán trạng thái phân cực một chiều của transistor.
2) Tính các thông số kỹ thuật của mạch ở trạng thái xoay chiều.

Khi tính toán trạng thái phân cực một chiều của transistor ta có thể dùng phương pháp toán học hay dùng phương pháp đồ thị. Để tính toán các thông số kỹ thuật của mạch, ta thường dùng mạch tương đương của transistor.

§2.2- TÍNH TRẠNG THÁI MỘT CHIỀU CỦA TRANSISTOR

1. Dùng phương pháp toán học

Mạch khuếch đại hình 2.1a ở cực B có cầu phân áp R_{B1} – R_{B2} và cực E có điện trở R_E ổn định nhiệt.

Để tính toán điện áp và dòng điện ở từng cực phải áp dụng định lý Thevenin để đổi nguồn.

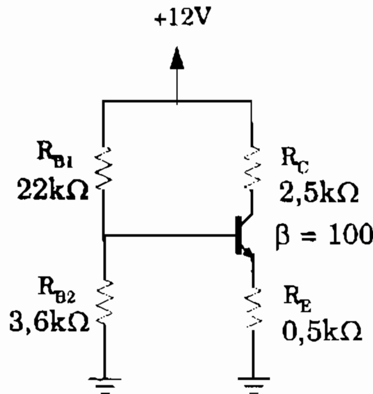
$$V_{BB} = V_{CC} \times \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = 12 \times \frac{3,6\,k\Omega}{22\,k\Omega + 3,6\,k\Omega} \approx 1,7V$$

$$R_B = \frac{R_{B1}\ R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{22\,k\Omega \times 3,6\,k\Omega}{22\,k\Omega + 3,6\,k\Omega} \approx 3,1\,k\Omega$$

Mạch điện hình 2.1a sẽ được đổi lại thành hình 2.1b để tính dòng điện I_B theo công thức:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + \beta\ R_E} = \frac{1,7 - 0,7}{3,1\,k\Omega + (100 \times 0,5\,k\Omega)}$$

$$\Rightarrow \quad I_B \approx 0,02\,mA$$



Hình: 2.1a

Suy ra: $I_C = \beta\ I_B = 100 \times 0,02mA = 2mA$

$I_E \cong I_C = 2mA$

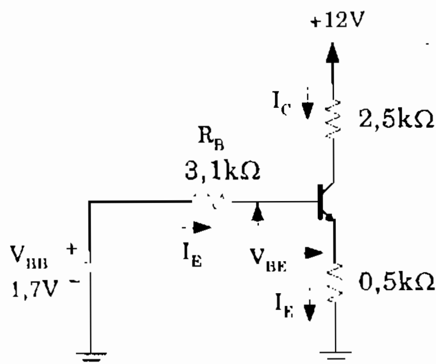
Tính điện áp các cực:

$V_E = I_E R_E = 2.10^{-3} \times 0,5.10^{3} = 1V$

$V_B = V_E + V_{BE} = 1 + 0,7 = 1,7V$

$V_C = V_{CC} - (I_C R_C) = 12 - (2.10^{-3} \times 2,5.10^{3}) = 7V$

$V_{CE} = V_C - V_E = 7 - 1 = 6V$



Hình: 2.1b

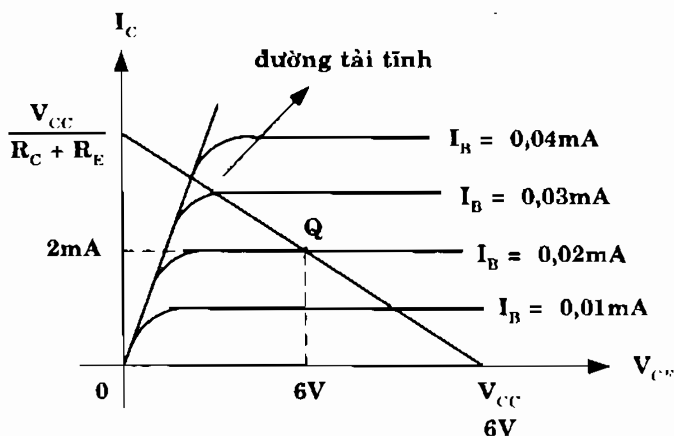
2. Dùng phương pháp đồ thị: (hình 2.2)

Trên đặc tuyến ngõ ra I_C/ V_{CE}, có thể vẽ đường tải tĩnh theo phương trình đường tải:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E}$$

Đường tải tĩnh là đường thẳng đi qua hai điểm:

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \qquad \text{và} \qquad V_{CE} = V_{CC}$$



Hình 2.2

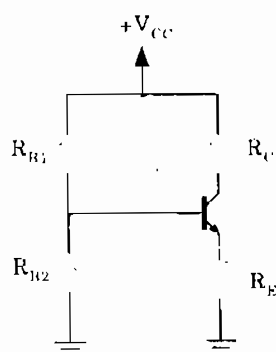
Điểm làm việc tĩnh Q là giao điểm của đường tải tĩnh và đường đặc tính ứng với I_B = 0,02mA. Tọa độ điểm Q là Q (I_C = 2mA, V_{CE} = 6V).

Phương pháp toán học và phương pháp đồ thị như vừa phân tích ở trên là dùng để tính trạng thái một chiều của mạch khuếch đại đã được thiết kế sẵn với điện áp nguồn và các điện trở phân cực nhất định. Vấn đề ngược lại là phải chọn điện áp nguồn và tính trị số của các điện trở phân cực cho transistor sao cho transistor hoạt động theo một yêu cầu kỹ thuật cụ thể và gọi là thiết kế mạch khuếch đại tín hiệu dùng transistor.

§2.3- THIẾT KẾ MẠCH KHUẾCH ĐẠI TUYẾN TÍNH

1. Chọn kiểu mạch khuếch đại

Giả sử chọn mạch khuếch đại theo kiểu thông dụng nhất là mạch khuếch đai ráp kiểu E chung, tải R_C, điện trở R_E ổn định nhiệt và cực B được phân cực bằng cầu phân áp (hình 2.3).



Hình: 2.3

Chọn điện áp nguồn V_{CC} = 9V là mức điện áp thông dụng cho các mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ.

Chọn transistor có β = 100, h_{ie} = 2,5kΩ và chọn hệ số ổn định nhiệt S = 20.

2. Xác định điểm làm việc tĩnh của transistor

Ta có: $h_{ie} = r_b + \beta r_e \approx \beta r_e$

Suy ra: $r_e = \frac{h_{ie}}{\beta} = \frac{2{,}5k\Omega}{100} = 25\Omega$

Mặt khác, điện trở r_e còn được tính theo công thức:

$$r_e \cong \frac{26mV}{I_E} \Rightarrow I_E = \frac{26mV}{r_e} = \frac{26mV}{25\Omega} \approx 1mA$$

$$I_C \approx I_E = 1mA$$

Thông thường, điện trở R_C và R_E được chọn sao cho:

$$V_{CE} \approx \frac{1}{2} V_{CC} \text{ và } I_E R_E \approx \frac{1}{10} V_{CC}$$

3. Tính điện trở R_E

Chọn: $I_E R_E = \frac{1}{10} V_{CC} \Rightarrow R_E = \frac{V_{CC}}{10 I_E} = \frac{9}{10 \times 10^{-3}} = 0{,}9k\Omega$

Lấy điện trở R_E theo trị số tiêu chuẩn là $R_E = 1k\Omega$

4. Tính điện trở R_C

Chọn $V_{CE} = \frac{1}{2} V_{CC} = \frac{1}{2} \times 9V = 4{,}5V$.

Ở ngõ ra ta có đẳng thức:

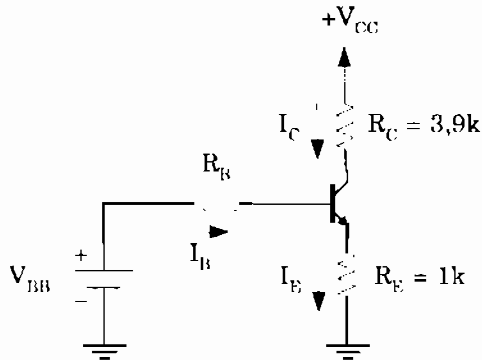
$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E$$

$$\Rightarrow R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - I_E R_E}{I_C} = \frac{9 - 4{,}5 - \left(10^{-3} \times 10^{3}\right)}{10^{-3}}$$

$$\Rightarrow R_C = 3{,}5k\Omega$$

Lấy điện trở R_C theo trị số tiêu chuẩn là: $R_C = 3{,}3k\Omega$. Khi chọn trị số R_C và R_E theo trị số tiêu chuẩn thì điện áp V_{CE} sẽ bị thay đổi chút ít trên đặc tuyến I_C/V_{CE}.

5. Tính điện trở $R_{B1} - R_{B2}$



Hình 2.4a

Để tính trị số R_{B1} – R_{B2}, đầu tiên phải tính trị số R_B và V_{BB} theo mạch tương đương được quy đổi ra từ định lý Thevenin (hình 2.4a).

Ta đã biết hệ số ổn định nhiệt được tính theo công thức:

$$\bar{S} \approx \frac{R_B}{R_E} = 20 \qquad \text{(hình 1.14d)}$$

Suy ra: $\frac{R_B}{R_E} = 20 \quad \Rightarrow \quad R_B = 20R_E$

$$\Rightarrow \quad R_B = 20 \times 1k\Omega = 20k\Omega$$

Theo mạch điện hình 2.4a ở ngõ vào ta có đẳng thức:

$$V_{BB} = I_BR_B + V_{BE} + I_ER_E$$

Trong đó: $I_E = 1mA$, $I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10^{-3}}{100} = 0{,}01mA$

Thay vào ta có:

$$V_{BB} = (0{,}01.10^{-3} \times 20.10^{3}) + 0{,}6 + (10^{-3} \times 10^{3}) = 1{,}8V$$

Theo định lý Thevenin ta có:

$$V_{BB} = V_{CC} \times \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad , \qquad R_B = \frac{R_{B1}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

Giải phương trình có hai ẩn số này ta tìm được trị số của R_{B1} và R_{B2} :

$$R_{B1} = 100k\Omega, \quad R_{B2} = 25k\Omega$$

Chọn điện R_{B1} và R_{B2} theo trị số tiêu chuẩn:

$$R_{B1} = 100k\Omega, \quad R_{B2} = 27k\Omega$$

6. Nghiệm lại trên mạch điện

Trình tự nghiệm lại trên mạch điện giống như cách tính trạng thái một chiều theo phương pháp toán học và tính trên mạch điện hình 2.5 như đã thiết kế.

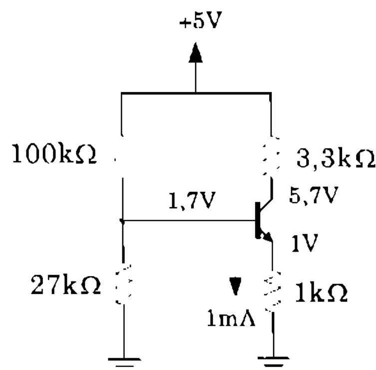
$$V_{BB} = V_{CC} \times \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = 9 \times \frac{27k\Omega}{100k\Omega + 27k\Omega} \approx 1{,}9V$$

$$R_B = \frac{R_{B1}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{100k\Omega \times 27k\Omega}{100k\Omega + 27k\Omega} \approx 21{,}25k\Omega$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + \beta R_E}$$

$$= \frac{1{,}9 - 1{,}7}{21{,}25k\Omega + 100x1k\Omega} = 0{,}01mA$$

Suy ra: $I_C \approx I_E = \beta I_B = 100 \times 0{,}01mA = 1mA$



Hình: 2.4b

Tính điện áp các chân:

$V_E = I_E R_E = 10^{-3} \times 10^3 = 1V$

$V_B = V_E + V_{BE} = 1 + 0,7 = 1,7V$

$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 9 - (10^{-3} \times 3,3.10^3) = 5,7V$

$V_{CE} = V_C - V_E = 5,7 - 1 = 4,7V$

Mạch điện hình 2.4b có các điện trở với trị số theo thiết kế được chọn theo trị số tiêu chuẩn.

7. Nghiệm lại theo phương pháp đồ thị

Phương trình đường tải là:

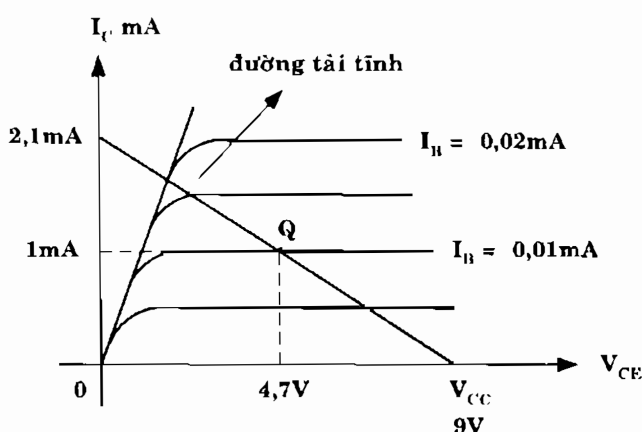
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E}$$

Nếu $V_{CE} = 0V$ thì:

$$I_C = I_{C\max} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{9}{3,3.10^3 + 10^3} = 2,1mA$$

Nếu $I_C = 0$ thì $V_{CE} = V_{CC}$

Đường tải tĩnh là đường thẳng nối hai điểm $V_{CE} = 9V$ và $I_C = 2,1mA$. Điểm làm việc tĩnh Q có tọa độ là ($V_{CE} = 4,7V$, $I_C = 1mA$).



Hình 2.5

§2.4- PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI BẰNG MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG

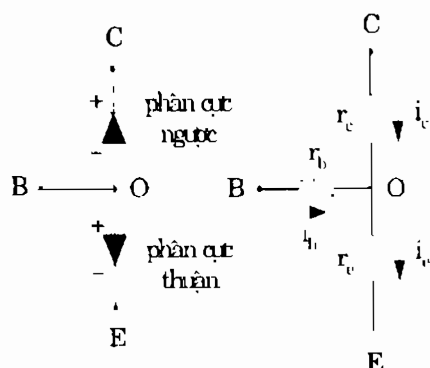
1. Mạch tương đương của transistor

Mạch tương đương của transistor có thể vẽ như hình 2.6, trong đó r_b là điện trở từ cực B vào giữa vùng bán dẫn của cực B, r_b là điện trở thuận ở trạng thái xoay chiều của mối nối BE, r_c là điện trở nghịch của mối nối BC.

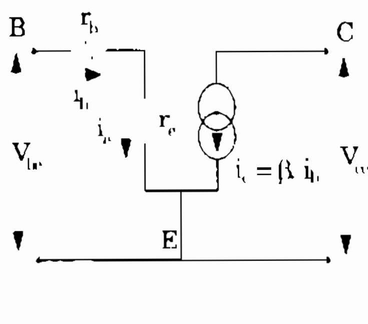
Điện trở r_b có trị số nhỏ khoảng vài chục ohm đến vài trăm ohm. Điện trở r_e là điện trở động của mối nối BE nên được tính theo công thức của diod là:

$$r_d = \frac{26mV}{I_D(mA)} \quad \Rightarrow \quad r_e = \frac{26mV}{I_E(mA)}$$

Điện trở r_c là điện trở nghịch của mối nối BC nên có trị số rất lớn khoảng vài trăm kΩ nên được coi như cách điện giữa B và C. Do đó, không có dòng điện từ cực C qua mối nối BC ra ở cực B nhưng có dòng điện I_C qua mối nối và ra ở cực E. Như vậy, ở ngõ ra mạch tương đương được đổi lại là cực C không dính vào cực B và có nguồn dòng điện đi từ C qua E như hình 2.7.



Hình 2.6: Mạch tương đương là diod và điện trở



Hình 2.7: Mạch tương đương là điện trở và nguồn dòng

Mạch tương đương của transistor dùng thông số h (Hybrid = lai) gọi là thông số lai. Trong hình 2.7 cho thấy các thông số có ý nghĩa như sau:

- i_b là dòng điện của tín hiệu ở ngõ vào, dòng này có trị số tùy theo điện trở r_b và r_e gọi là điện trở ngõ vào.
- i_c là dòng điện của tín hiệu ở ngõ ra, dòng điện này có trị số tùy theo dòng điện ngõ vào i_b vì:

$$i_c = \beta i_b \quad \text{hay } \Delta I_C = \beta \Delta I_B$$

Từ mạch tương hình 2.10 có thể viết được hai phương trình:

- v_{be} thay đổi theo i_b và v_{ce}
- i_c thay đổi theo i_b và v_{ce}

Ta có: $v_{be} = h_{11}i_b + h_{12}v_{ce}$ hay $\Delta V_{BE} = h_{11}\Delta I_B + h_{12}\Delta V_{CE}$

$i_c = h_{21}i_b + h_{22}v_{ce}$ hay $\Delta I_c = h_{21}\Delta I_B + h_{22}\Delta V_{CE}$

Từ hai phương trình trên ta có thể xác định được ý nghĩa và giá trị của các thông số h như sau:

+ Giả thiết $\Delta V_{CE} = 0$, tức là V_{CE} là hằng số thì:

$$h_{11} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}$$ là điện trở ngõ vào, đơn vị là Ω. Trong mạch ráp E chung gọi là h_{ie} (i: input).

$$h_{21} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$ là tỉ số dòng điện ngõ ra và dòng điện ngõ vào (độ khuếch đại dòng điện), không có đơn vị. Trong mạch ráp E chung gọi là h_{fe} (f : forward = thuận).

+ Giả thiết $\Delta I_B = 0$, tức I_B là hằng số thì:

$$h_{12} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta V_{CE}}$$ là tỉ số điện áp ngõ vào và ngõ ra (độ khuếch đại điện áp ngược), không có đơn vị. Trong mạch ráp E chung gọi là h_{re} (r: reverse là quan hệ ngược).

$h_{22} = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}}$ là nghịch đảo của điện trở ngõ ra, đơn vị là $1/\Omega$ = mho. Trong mạch ráp E chung gọi là h_{oe} (o: output).

Trong thực tế thông số h_{re} ít được sử dụng vì giá trị rất nhỏ, thông số h_{oe} là nghịch đảo của điện trở ra có đơn vị là mô không thuận tiện cho tính toán nên thường cho điện trở ra là r_o chính là nghịch đảo của h_{oe}.

Thông số h của một transistor điển hình B321 có:

$h_{ie} = 4000\Omega$, $h_{fe} = 100$, $h_{re} = 6.10^{-4}$, $h_{oe} = 20\mu\Omega$

2. Mạch tương đương kiểu E chung

- Tổng trở ngõ vào:

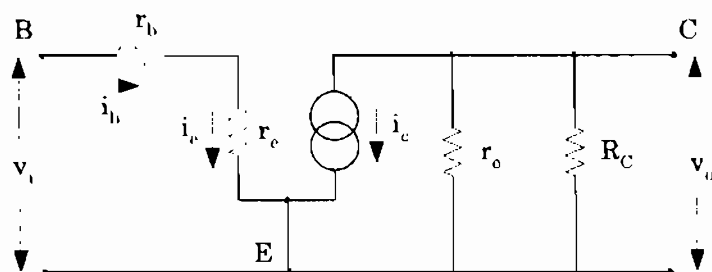
$$h_{ie} = r_i = \frac{v_i}{i_b} = \frac{i_b \cdot r_b + i_e \cdot r_e}{i_b}$$

$$h_{ie} = \frac{i_b \cdot r_b + \beta\, i_b \cdot r_e}{i_b}$$

$$\boxed{h_{ie} = r_b + \beta \cdot r_e = r_{be}}$$

Thông số h_{ie} còn gọi là r_{be}, ý chỉ tổng trở giữa cực B và cực E.

- Tổng trở ngõ ra: $r_o = \frac{1}{h_{oe}}$ vài chục kΩ đến vài trăm kΩ.



Hình 2.8: Mạch tương đương kiểu cực E chung

Do trị số r_o rất lớn nên nhiều trường hợp có thể bỏ qua r_o.

- Độ khuếch đại dòng điện:

$$\boxed{A_i = h_{fe} = \frac{i_c}{i_b} = \beta}$$ (vài chục đến vài trăm)

- Độ khuếch đại điện áp :

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_{ce}}{v_{be}} = -\frac{i_c R_c}{i_b r_i} = -\frac{\beta\, i_b R_c}{i_b h_{ie}}$$

$$\boxed{A_v = -\beta \frac{R_c}{h_{ie}}}$$ (vài trăm lần)

3. Mạch tương đương kiểu B chung

- Tổng trở ngõ vào:

$$r_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{i_e r_e + i_b r_b}{i_e}$$

$$r_i = \frac{\beta\, i_b r_e + i_b r_b}{\beta i_b}$$

$$r_i = \frac{\beta r_e + r_b}{\beta}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{r_i = \frac{h_{ie}}{\beta}}$$ (≈ vài chục Ω)

- Tổng trở ngõ ra:

$$r_o = \frac{v_o}{i_c}$$ (≈ vài trăm kΩ vì BC phân cực ngược)

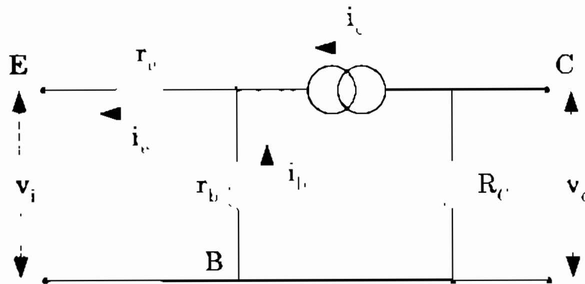
- Độ khuếch đại dòng điện:

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_c}{i_e} = \frac{\beta i_b}{(\beta + 1) i_b} = \frac{\beta}{\beta + 1} \approx 1$$

- Độ khuếch đại điện áp:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-i_c R_C}{-i_e r_e} \approx \frac{R_C}{\dfrac{h_{ie}}{\beta}} = \frac{\beta R_C}{h_{ie}}$$

$$\boxed{A_v = \beta \frac{R_C}{h_{ie}}}$$ (≈ vài trăm lần)



Hình 2.9: Mạch tương đương kiểu B chung

4. Mạch tương đương kiểu C chung

- Tổng trở ngõ vào:

$$r_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{i_b r_b + i_e r_e + i_e R_E}{i_b}$$

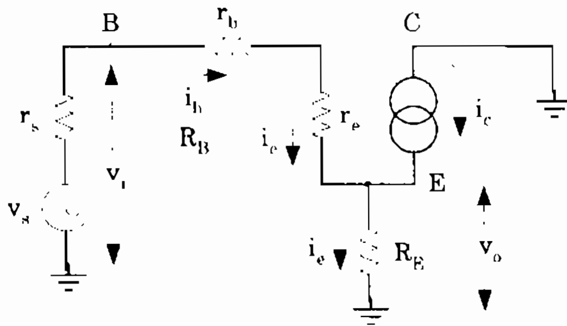
$$r_i = r_b + \beta r_e + \beta R_E$$

$$\boxed{r_i = h_{ie} + \beta R_E}$$ (≈ vài trăm kΩ)

- Tổng trở ngõ ra:

Khi đứng từ ngõ ra nhìn vào mạch và nối tắt nguồn v_s thì mạch tương đương được vẽ lại như hình 2.11.

Ta có: $r_o = \dfrac{v_o}{i_o} = \dfrac{v_e}{i_e}$



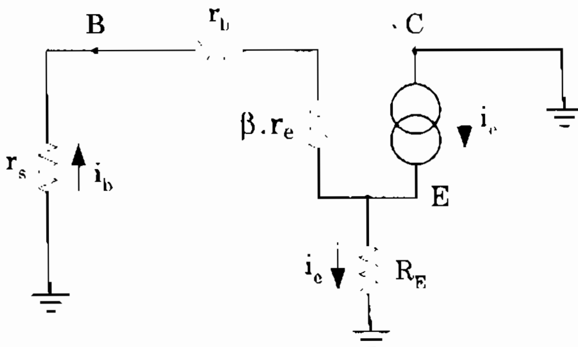
Hình 2.10: Mạch tương đương kiểu C chung

Theo mạch tương đương hình 2.14 thì các điện trở r_s, r_b và $\beta.r_e$ ghép nối tiếp nhau và song song với điện trở tải R_E.

Ta có: $v_e = i_e R_E = i_b (r_s + r_b + \beta r_e)$

$$r_o = \frac{v_e}{i_e} = \frac{i_b\left(r_s + r_b + \beta r_e\right)}{\beta\, i_b} = \frac{r_s + r_b + \beta r_e}{\beta}$$

$$\boxed{r_o = r_e + \frac{1}{\beta}\left(r_s + r_b\right)} \qquad (\approx \text{vài chục } \Omega)$$



Hình 2.11: Mạch tương đương nhìn từ ngõ ra

- Độ khuếch đại dòng điện:

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_e}{i_b} = \frac{(\beta + 1)\, i_b}{i_b}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{A_i = \beta + 1}$$

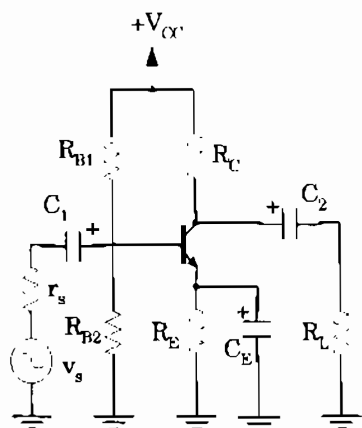
- Độ khuếch đại điện áp:

$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_e}{v_b} = \frac{i_e\, R_E}{i_b\, r_b + i_e\, r_e + i_e\, R_E} = \frac{\beta\, R_E}{r_b + \beta\, r_e + \beta\, R_E}$$

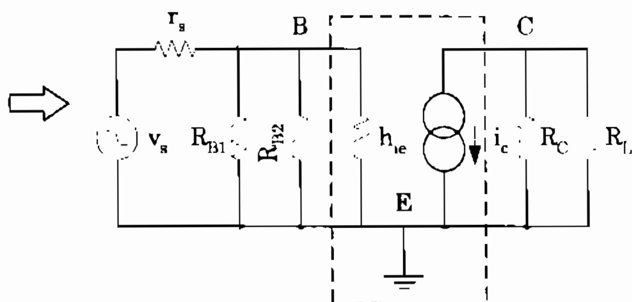
$$\Rightarrow \quad \boxed{A_V \approx 1} \qquad (\text{vì } r_b + \beta r_e << \beta R_E)$$

5. Phân tích mạch khuếch đại bằng mạch tương đương

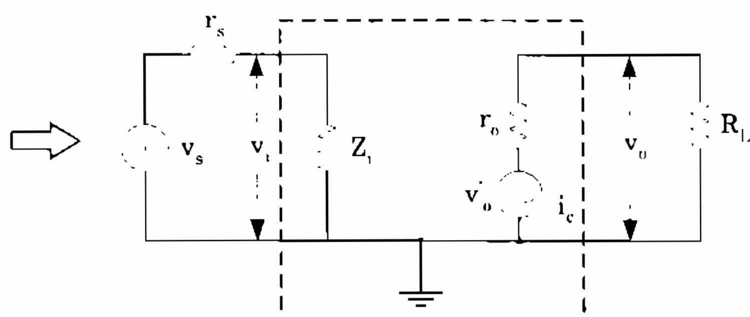
Cho mạch khuếch đại hình 2.12a, ta có thể chuyển sang mạch tương đương như hình 2.12b và 2.12c.



Hình 2.12a: Mạch khuếch đại điển hình



Hình 2.12b: Mạch tương đương của transistor theo thông số h



Hình 2.12c: *Mạch tương đương bao gồm cả* R_{B1} - R_{B2} - R_C

Trong hai mạch tương đương có các thông số:

- h_{ie}: tổng trở vào của transistor theo kiểu E chung
- Z_i: tổng trở vào của mạch bao gồm $R_{B1}//R_{B2}//h_{ie}$
- r_o: tổng trở ra của transistor theo kiểu E chung
- v_o': điện áp ngõ ra lúc mạch không có tải R_L
- v_o: điện áp ra lúc mạch có tải R_L

Từ hai mạch tương đương trên ta có thể tính được các thông số sau:

- Tổng trở vào của mạch:

$$Z_i = R_{B1}//R_{B2}//h_{ie} \qquad \text{với} \qquad R_B = \frac{R_{B1}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{Z_i = \frac{R_B h_{ie}}{R_B + h_{ie}}}$$

- Điện áp tín hiệu ngõ vào: $\boxed{v_i = v_s \frac{Z_i}{Z_i + r_s}}$

- Độ khuếch đại điện áp của transistor:

Trong mạch tương đương 2.12b ta có $R_C//R_L$ gọi là R_L.

$$\Rightarrow \quad R'_L = \frac{R_C.R_L}{R_C + R_L}$$

- Độ khuếch đại điện áp kiểu E chung:

$$\boxed{A_V = \frac{v_o}{v_i} = -\beta \frac{R'_L}{Z_i}}$$

- Độ khuếch đại điện áp toàn mạch:

$$A_{VS} = A_V \frac{v_i}{v_s} = -\beta \frac{R_L}{Z_i} \times \frac{Z_i}{Z_i + r_s}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{A_{VS} = -\beta \frac{R'_L}{Z_i + r_s}}$$

- Trong mạch tương đương hình 2.12c ta còn có các quan hệ:

Điện áp ra khi có tải:

$$v_o = v'_o \frac{R_L}{r_o + R_L} \qquad (v'_o\text{: điện áp ra không tải})$$

Suy ra : $v_o(r_o + R_L) = v'_o R_L$

$$\Rightarrow \quad r_o = \frac{v'_o}{v_o} R_L - R_L$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{r_o = \left(\frac{v'_o}{v_o} - 1\right) R_L}$$

§2.5- TÍNH CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH Ở TRẠNG THÁI XOAY CHIỀU

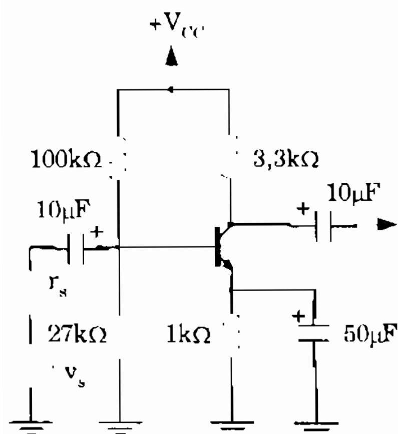
Mạch điện hình 2.4 được vẽ lại đầy đủ như hình 2.13a với các tụ điện liên lạc và tụ điện phân dòng.

Hình 2.13b là sơ đồ mạch tương đương ở trạng thái xoay chiều mà hình 2.13c là đặc tuyến ngõ ra với đường tải động.

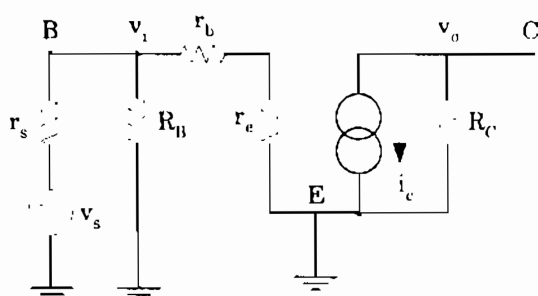
1. Trường hợp có tụ điện là C_E

Đối với tín hiệu xoay chiều các tụ điện liên lạc và tụ điện phân dòng được coi như nối tắt nên trong mạch tương đương hình 2.13b, cực E được vẽ nối mass. Phương trình đường tải động được viết lại:

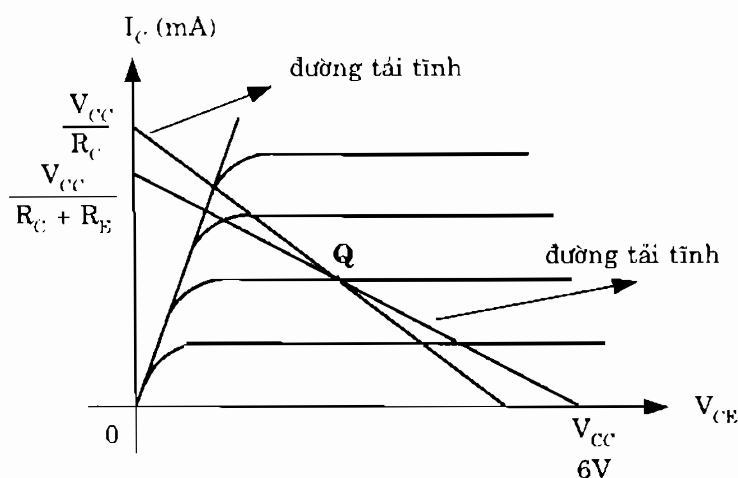
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$$



Hình 2.13a



Hình 2.13b



Hình 2.13c

Đường tải động là đường thẳng cắt điểm $I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$ và đi qua điểm làm việc tĩnh Q (hình 2.13c).

Thông số của mạch được tính theo công thức của cách ráp cực E chung.

Ta có:

- Tổng trở vào của transistor:

$r_i = h_{ie} = 2{,}5k\Omega$ (đã cho trước)

- Độ khuếch đại dòng điện:

$A_i = \beta = 100$ (đã cho trước)

- Độ khuếch đại điện áp riêng của transistor:

$$A_V = -\beta\frac{R_C}{h_{ie}} = -100 \times \frac{3{,}3.10^3}{2{,}5.10^3} = -132$$

- Tổng trở vào chung của mạch:

$R_i = h_{ie}//R_B$ (với $R_B = R_{B1}//R_{B2}$)

$$R_i = \frac{h_{ie}R_B}{h_{ie} + R_B} = \frac{2{,}5k\Omega \times 21{,}25k\Omega}{2{,}5k\Omega + 21{,}25k\Omega} \approx 2{,}2k\Omega$$

Nếu nguồn tín hiệu xoay chiều là micro thì nội trở nguồn $r_s = 600\Omega$.

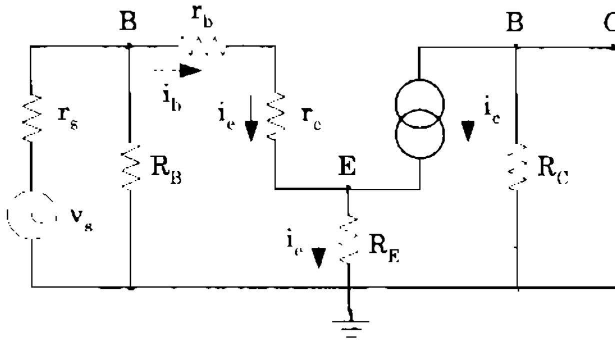
- Độ khuếch đại điện áp chung của mạch:

$$A_{VO} = \frac{v_o}{v_i} \times \frac{v_i}{v_s} = A_V \frac{R_i}{R_i + r_s}$$

$$A_V = -132 \times \frac{2{,}2k\Omega}{2{,}2k\Omega + 600\Omega} \approx -103$$

2. Trường hợp không có tụ điện C_E

Nếu không có tụ điện phân dòng C_E thì cực E không được nối mass ở trạng thái xoay chiều, mạch tương đương được vẽ lại như hình 2.13d.



Hình 2.13d

Trường hợp này đường tải động cũng chính là đường tải tĩnh.

Các thông số của mạch ở trạng thái xoay chiều được tính lại:

- Tổng trở vào của transistor:

$$r_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{i_b r_b + i_e r_e + i_e R_E}{i_b}$$

$$r_i = r_b + \beta r_e + \beta R_E = h_{ie} + \beta R_E$$

$$= 2{,}5k\Omega + 100 \times 1k\Omega = 102{,}5k\Omega$$

- Độ khuếch đại điện áp riêng của transistor:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{i_c R_C}{i_b r_i} = -\frac{\beta i_b R_C}{i_b \left(h_{ie} + \beta R_E\right)} = -\beta \frac{R_C}{h_{ie} + \beta R_E}$$

Do $\beta R_E >> h_{ie}$ nên:

$$\boxed{A_v \approx -\frac{R_C}{R_E}} \qquad \text{và} \qquad \boxed{r_i' \approx \beta R_E}$$

Như vậy: $$A_v = -\frac{3{,}3k\Omega}{1k\Omega} = -3{,}3$$

Độ khuếch đại điện áp khi không có tụ C_E bị giảm rất nhỏ.

-Tổng trở vào chung của mạch:

$$R_i = r_i // R_B = \frac{102{,}5k\Omega \times 21{,}25k\Omega}{102{,}5k\Omega + 21{,}25k\Omega} = 17{,}6k\Omega$$

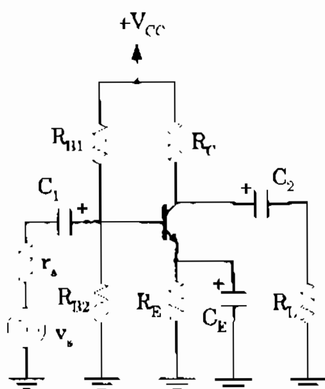
- Độ khuếch đại điện áp chung của mạch:

$$A_{VO} = A_v \times \frac{R_i^{'}}{R_i^{'} + r_s} = -3{,}3 \times \frac{17{,}6k\Omega}{17{,}6k\Omega + 600\Omega} \approx -3{,}2$$

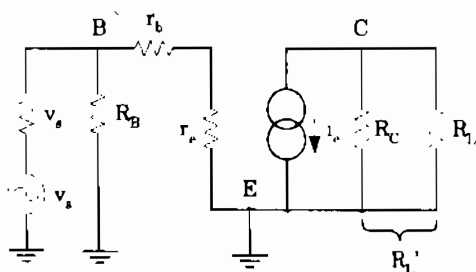
Nhận xét:

Khi mạch khuếch đại dùng transistor ráp kiểu E chung có điện trở R_E ổn định nhiệt và không có tụ phân dòng C_E thì tổng trở vào sẽ tăng lên và độ khuếch đại điện áp bị giảm xuống. Đây là mạch khuếch đại hồi tiếp sẽ phân tích kỹ trong chương "Khuếch đại hồi tiếp".

3. Trường hợp có điện trở tải R



Hình 2.13e



Hình 2.13f

Sơ đồ hình 2.13e và 2.13f là trường hợp có điện trở tải R_L và mạch tương đương.

Theo mạch tương đương ta có $R_L^{'} = R_C // R_L$, lúc đó các thông số của mạch được tính lại như sau:

$$\boxed{A_V = -\beta \frac{R_L^{'}}{h_{ie}}}$$ (khi có tụ C_E)

$$A_i' = -\frac{R_L'}{R_E}$$ (khi không có tụ C_E)

Trong đó R_L' gọi là tải xoay chiều của mạch.

§2.6- MẠCH KHUẾCH ĐẠI NHIỀU TẦNG

Xét mạch khuếch đại hai tầng dùng transistor ráp kiểu E chung như hình 2.14a và mạch tương đương hình 2.14b.

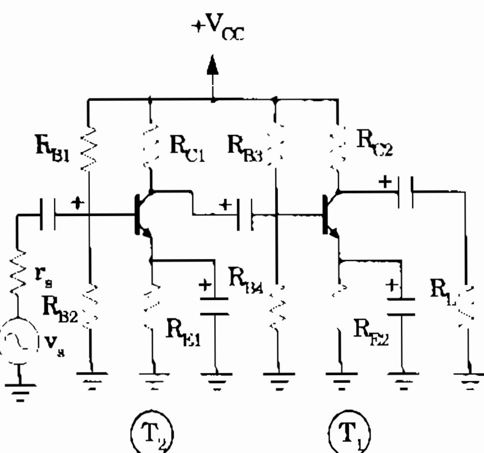
Trong mạch tương đương có các điện trở:

$R_1 = R_{B1}//R_{B2}$

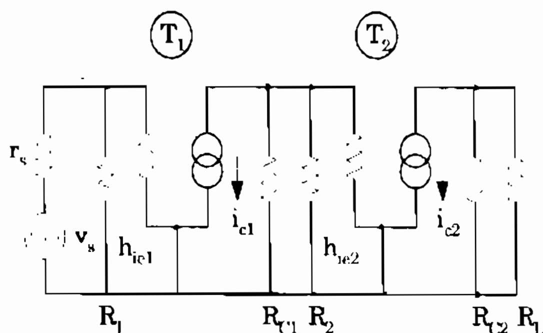
$h_{ie1} = r_b + \beta R_e$ (tổng trở vào của T_1)

$h_{ie2} = r_b + \beta R_e$ (tổng trở vào của T_2)

$R_2 = R_{B3}//R_{B4}$



Hình 2.14a

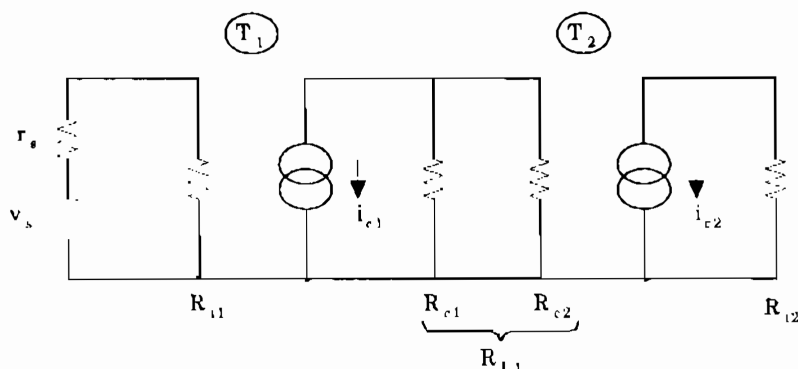


Hình 2.14b

Để tiện việc tính toán ta có thể vẽ lại mạch tương đương đơn giản hơn như hình 2.14c.

Trong hình 2.14c có $R_{i1} = R_1//h_{ie1}$ là tổng trở vào chung của tầng khuếch đại thứ nhất, $R_{i2} = R_2//h_{ie2}$ là tổng trở vào chung của

tầng khuếch đại thứ hai. Như vậy, tổng trở ngõ vào chung của tầng khuếch đại thứ hai chính là tải của transistor T_1.



Hình 2.14c

Do: $R_{i1} >> h_{ie1}$ và $R_2 >> h_{ie2}$ nên

$R_{i1} \approx h_{ie1}$ và $R_{i2} \approx h_{ie2}$

Ta còn có: $R_{L1} = R_{C1}//R_{i2} \approx R_{C1}//h_{ie2}$ gọi là tải xoay chiều của T_1 và R_{L2} là tải xoay chiều của T_2.

Ta có thể tính độ khuếch đại điện áp của từng tầng khuếch đại theo công thức:

$$A_V = -\beta \frac{R_l'}{h_{ie}}$$

Tầng 1 có: $A_{V1} = -\beta_1 \dfrac{R_{l1}}{h_{ie1}} = -\beta_1 \dfrac{R_{C1} // h_{ie2}}{h_{ie1}}$

Do $R_{C1} >> h_{ie2}$ nên $R_{C1}//h_{ie2} \approx h_{ie2}$

$$\Rightarrow \quad A_{V1} = -\beta_1 \frac{h_{ie2}}{h_{ie1}}$$

Tầng 2 có: $A_{V2} = -\beta_2 \dfrac{R_{l2}}{h_{ie2}} = -\beta_2 \dfrac{R_{l2}}{h_{ie2}}$

Độ khuếch đại điện áp chung của cả hai tầng:

$$A_V = A_{V1}A_{V2} = \beta_1\beta_2 \frac{h_{ie2}}{h_{ie1}} \frac{R_{L2}}{h_{ie2}}$$

$$\Rightarrow \quad A_V = \beta_1\beta_2 \frac{R_{L2}}{h_{ie1}}$$

Như vậy, độ khuếch đại điện áp chung của hai tầng khuếch đại tỉ lệ với tích số $\beta_1 . \beta_2$ và tỉ số của tổng trở ngõ ra tầng cuối và tổng trở ngõ vào tầng đầu.

§2.7- MẠCH KHUẾCH ĐẠI RA Ở CỰC E

Mạch khuếch đại ra ở cực E là mạch khuếch đại dùng transistor ráp kiểu C chung, có tín hiệu vào cực B và ra ở cực E. Mạch này còn được gọi là mạch khuếch đại đệm vì có tác dụng đổi từ tổng trở lớn ở ngõ vào thành tổng trở nhỏ ở ngõ ra để dung hợp với các tải cần dòng lớn (tức là tải có tổng trở nhỏ).

1. Sơ đồ – Mạch tương đương

Các thông số kỹ thuật của transistor:

- Tổng trở ngõ vào nhìn từ cực B vào transistor:

$r_i = h_{ie} + \beta R_E$ (với $h_{ie} = r_b + \beta r_e$, h_{ie} còn gọi là r_{be})

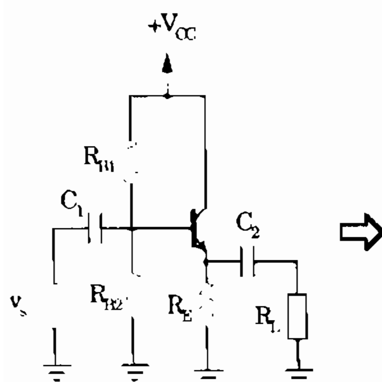
- Tổng trở ngõ ra nhìn từ cực E vào transistor:

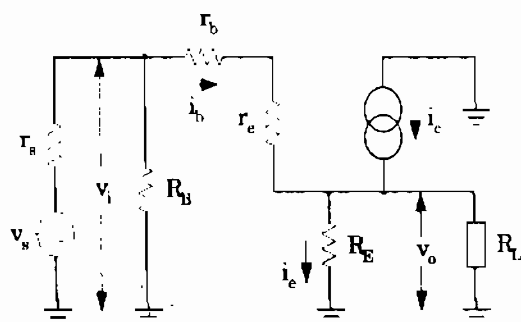
$$r_o = r_e + \frac{1}{\beta(r_b + r_s)} \quad \text{hay} \quad r_o = \frac{r_s + h_{ie}}{\beta}$$

- Độ khuếch đại dòng điện: $A_i = \beta + 1$

- Độ khuếch đại điện áp: $A_V = 1$

- Góc pha: điện áp tín hiệu vào và ra đồng pha nhau.





Hình 2.15a: Mạch khuếch đại *Hình 2.15b: Mạch tương đương*

2. Đặc điểm của mạch

Khi tính thông số kỹ thuật của toàn mạch thì phải xét đến các điện trở phân cực và điện trở tải.

+ Ở ngõ vào cầu phân áp R_{B1}+R_{B2} đổi thành $R_B = R_{B1} // R_{B2}$.

Ta có: $v_i = i_b h_{ie} + i_e R_E$

$v_i = i_b h_{ie} + (1 + \beta) i_b R_E$

Suy ra tổng trở vào của toàn mạch nhìn từ cực E khi có R_E:

$$r_i' = \frac{v_i}{i_b} = h_{ie} + (1 + \beta) R_E$$

Tổng trở vào của toàn mạch khi nhìn từ nguồn: $Z_i = R_B // r_i'$

+ Khi xét tổng trở ra, dùng định lý Thevenin để tính lại nguồn tín hiệu và điện áp ngõ vào:

$$R_B' = R_B // r_s = \frac{R_B r_s}{R_B + r_s}$$

$$v_i = v_s \frac{R_B}{R_B + R_S}$$

Ta có: $$i_b = \frac{v_s}{R_B^{'} + h_{ie} + (1+\beta) R_E}$$

và $$v_o = i_e R_E = (1+\beta)\, i_b R_E$$

$$\Rightarrow \quad v_o = \frac{(1+\beta) R_E v_s}{R_B^{'} + h_{ie} + (1+\beta) R_E} = \frac{R_E v_s}{\frac{R_B^{'} + h_{ie}}{1+\beta} + R_E}$$

Nếu có điện trở tải R_L thì tổng trở tải:

$$R_L^{'} = R_L // R_E$$

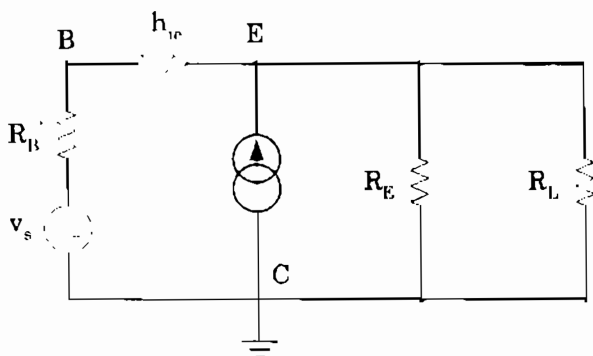
Lúc đó v_o là: $$v_o = \frac{R_L^{'} v_S}{\frac{R_B^{'} + h_{ie}}{1+\beta} + R_L^{'}}$$

Trong phần phân tích mạch tương đương, ta có công thức tính tổng trở ngõ ra:

$$r_o = \left(\frac{v_s}{v_o} - 1\right) R_L^{'}$$

Thay trị số của v_o vào r_o, đơn giản ta có:

$$r_o = \frac{R_B^{'} + h_{ie}}{1+\beta}$$



Hình 2.16: Mạch tương đương theo định lý thevenin

Qua công thức trên cho thấy, nếu độ khuếch đại dòng điện β càng lớn thì tổng trở ra r_o càng nhỏ và mạch có khả năng cấp dòng cho tải càng lớn.

Mạch khuếch đại ra ở cực E có tổng trở ngõ vào Z_i lớn, tổng trở ngõ ra r_o nhỏ nên mạch thường dùng để dung hợp tổng trở, phân cách giữa nguồn tín hiệu vào và tải ở ngõ ra. Tổng trở vào lớn còn có ưu điểm là không bị suy giảm biên độ của điện áp tín hiệu ở ngõ vào, tổng trở ngõ ra nhỏ nên mạch có khả năng cung cấp dòng cho tải lớn.

Tuy nhiên mạch cũng có nhược điểm là không khuếch đại được điện áp của tín hiệu vì $A_V \approx 1$.

Chương 3

MẠCH KHUẾCH ĐẠI HỒI TIẾP

§3.1- ĐẠI CƯƠNG

Mạch khuếch đại có ký hiệu dạng sơ đồ khối như hình 3.1; khi có tín hiệu điện áp v_s ở ngõ vào, sẽ cho ra tín hiệu điện áp v_o ở ngõ ra. Tỉ số $A_v = v_o/v_s$ được gọi là độ khuếch đại điện áp như đã trình bày trong các chương trước. Mạch khuếch đại kiểu này còn gọi là khuếch đại vòng hở và và để phân biệt với mạch khuếch đại hồi tiếp, độ khuếch đại điện áp của mạch khuếch đại vòng hở được ký hiệu là A_{VO} (o: open = hở).

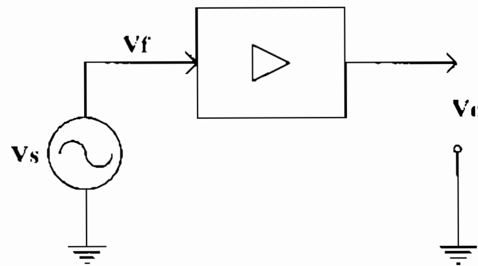
Ta có: $$A_{VO} = \frac{v_o}{v_s} \approx \frac{v_o}{v_i}$$

Mạch hồi tiếp là mạch lấy một phần năng lượng ở ngõ ra đưa về cung cấp cho ngõ vào để điều chỉnh lại các thông số và chỉ tiêu kỹ thuật của mạch khuếch đại. Mạch hồi tiếp trong sơ đồ khối được viết tắt là FB do "Feed Back".

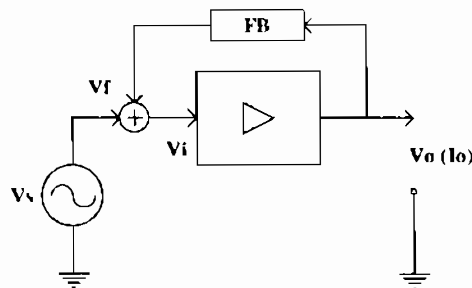
Đối với mạch hồi tiếp, tín hiệu vào chính là tín hiệu ra của mạch khuếch đại (có thể là v_o hay i_o), tín hiệu ra của mạch hồi tiếp ký hiệu là v_f đưa vào mạch khuếch đại chung với tín hiệu v_i. Tỉ số giữa tín hiệu ra và vào mạch hồi tiếp được gọi là hệ số hồi tiếp ký hiệu là b.

Ta có: $$b = \frac{v_f}{v_o} \quad \Rightarrow \quad v_f = bv_o$$

Mạch khuếch đại có đường hồi tiếp như hình 3.2 được gọi là mạch khuếch đại hồi tiếp (hay mạch khuếch đại vòng kín). Tỉ số giữa điện áp ra v_o và điện áp nguồn v_s bây giờ gọi là độ khuếch đại hồi tiếp ký hiệu là A_{VF} (F do Feed Back).



Hình 3.1: Mạch khuếch đại vòng hở



Hình 3.2: Mạch khuếch đại hồi tiếp

Ta có: $A_{VF} = \dfrac{v_o}{v_s}$

Nếu v_s và v_f đồng pha:

$$v_i = v_s + v_f \Rightarrow v_s = v_i - v_f \quad \Rightarrow \quad A_{VF} = \frac{v_o}{v_i - v_f}$$

Nếu v_s và v_f ngược pha:

$$v_i = v_s - v_f \Rightarrow v_s = v_i + v_f \quad \Rightarrow \quad A_{VF} = \frac{v_o}{v_i + v_f}$$

Tổng quát: $A_{VF} = \dfrac{v_o}{v_i \pm v_f}$

§3.2- PHÂN LOẠI MẠCH HỒI TIẾP

Mạch hồi tiếp được phân loại theo ba cách:

- theo tác dụng khuếch đại
- theo dạng tín hiệu
- theo cách ghép giữa tín hiệu hồi tiếp và tín hiệu vào.

1. Theo tác dụng khuếch đại

- Mạch hồi tiếp dương khi có hồi tiếp sẽ làm tăng độ khuếch đại điện áp. Trường hợp này ta có: $A_{VF} > A_{VO}$.

- Mạch hồi tiếp âm khi có hồi tiếp sẽ làm giảm độ khuếch đại điện áp. Trường hợp này ta có: $A_{VF} < A_{VO}$

2. Theo dạng tín hiệu hồi tiếp

- Mạch hồi tiếp điện áp là mạch lấy điện áp ra v_o để tạo điện áp hồi tiếp v_f đưa trở lại ngõ vào.

- Mạch hồi tiếp dòng điện là mạch lấy dòng điện ra i_o để tạo điện áp hồi tiếp v_f đưa trở lại ngõ vào.

3. Theo cách ghép với tín hiệu vào

- Hồi tiếp song song là khi điện áp nguồn tín hiệu v_s và điện áp hồi tiếp v_f ghép song song nhau. Nói cách khác hồi tiếp song song là khi hai tín hiệu v_s và v_f cùng đưa vào một cực của một transistor.

Trường hợp này ta có:

$$v_i = v_s + v_f \quad => \quad v_s = v_i - v_f$$

- Hồi tiếp nối tiếp khi điện áp nguồn tín hiệu v_s và điện áp hồi tiếp v_f ghép nối tiếp nhau. Nói cách khác, hồi tiếp nối tiếp là khi hai tín hiệu v_s và v_f đưa vào hai cực khác nhau của một transistor. Thí dụ: v_s đưa vào cực B còn v_f đưa vào cực E của cùng một transistor.

Trường hợp này ta có:

$$v_i = v_s - v_f \quad => \quad v_s = v_i + v_f$$

Một mạch hồi tiếp có tên gọi đủ gồm cả bả phần theo ba cách phân loại trên.

Thí dụ: - Mạch hồi tiếp âm dòng điện ghép nối tiếp

- Mạch hồi tiếp âm điện áp ghép song song.

§3.3- CÁCH XÁC ĐỊNH LOẠI HỒI TIẾP

1. Công thức tổng quát

Trong mạch khuếch đại vòng hở hình 3.1 ta có:

$$A_{VO} = \frac{v_o}{v_s} \approx \frac{v_o}{v_i} \qquad \text{(nội trở } r_s \text{ của nguồn thường nhỏ)}$$

$$\Rightarrow \quad v_o = v_i\, A_{VO}$$

Trong mạch khuếch đại hồi tiếp hình 3.2, nếu chỉ xét từ ngõ vào v_i đến ngõ ra v_o thì độ khuếch đại chính là độ khuếch đại vòng hở A_{VO} và:

$$A_{VO} = \frac{v_o}{v_i} \qquad \Rightarrow \quad v_o = v_i\, A_{VO}$$

Trường hợp xét từ nguồn v_s đến ngõ ra v_o bao gồm cả mạch hồi tiếp thì có độ khuếch đại hồi tiếp là:

$$A_{VF} = \frac{v_o}{v_s} \qquad \text{và } v_s = v_i \pm v_f \qquad \text{với } v_f = b.v_o$$

Suy ra:

$$A_{VF} = \frac{v_i.A_{VO}}{v_i \pm b.v_o} = \frac{v_i.A_{VO}}{v_i \pm b.v_i.A_{VO}}$$

$$\Rightarrow \quad A_{VF} = \frac{A_{VO}}{v_i \pm b.A_{VO}}$$

Gọi mẫu số $1 \pm b.A_{VO}$ là thừa số hồi tiếp F, ta có:

$$F = 1 \pm b.A_{VO} \qquad \text{và} \qquad A_{VF} = \frac{A_{VO}}{F}$$

2. Trường hợp $F = 1 - b.A_{VO}$

Trong phần 3.1 đã phân tích, nếu v_s và v_f đồng pha ta có:

$$v_i = v_s + v_f \Rightarrow v_s = v_i - v_f \quad \Rightarrow A_{VF} = \frac{v_o}{v_i - v_f}$$

Suy ra: $$A_{VF} = \frac{A_{VO}}{1 - b.A_{VO}} \quad \Rightarrow F = 1 - b.A_{VO}$$

Ta có các trường hợp sau:

a. Nếu $F = 1 - b.A_{VO} > 1 \quad \Rightarrow \quad A_{VF} < A_{VO}$

Mạch hồi tiếp có tác dụng làm giảm độ khuếch đại nên là mạch hồi tiếp âm. Khi đó $-b.A_{VO} > 0 \Rightarrow b.A_{VO} < 0$, nghĩa là b và A_{VO} trái dấu.

b. Nếu $F = 1 - b.A_{VO} < 1 \quad \Rightarrow \quad A_{VF} > A_{VO}$

Mạch hồi tiếp có tác dụng làm tăng độ khuếch đại nên là mạch hồi tiếp dương. Khi đó $-b.A_{VO} < 0 \Rightarrow b.A_{VO} > 0$ và điều này có nghĩa là b và A_{VO} cùng dấu.

c. Nếu transistor có $-b.A_{VO} >> 1$ thì:

$$A_{VF} = \frac{A_{VO}}{1 - b.A_{VO}} \approx \frac{A_{VO}}{-b.A_{VO}} = -\frac{1}{b}$$

Trường hợp này độ khuếch đại hồi tiếp A_{VF} là nghịch đảo và ngược dấu với hệ số hồi tiếp b.

d. Nếu $F = 1 - b.A_{VO} = 0 \quad \Rightarrow b.A_{VO} = 1$

Trường hợp này ta có:

$$A_{VO} = \frac{A_{VO}}{1 - b.A_{VO}} \quad \rightarrow \infty$$

$$b.A_{VO} = 1 \quad \Rightarrow \frac{v_f}{v_o} \cdot \frac{v_o}{v_i} = 1 \quad \Rightarrow \frac{v_f}{v_i} = 1$$

Suy ra: $v_f = v_i$

Lúc đó, mạch tự tạo ra tín hiệu và trở thành mạch dao động (phần này sẽ được phân tích trong giáo trình "Mạch điện tử - Tập 2").

Trường hợp $F = 1 - b.A_{VO}$ là trường hợp điện áp hồi tiếp v_f được ghép song song với nguồn tín hiệu v_s.

3. Trường hợp $F = 1 + b.A_{VO}$

Trong phần 3.1 ta cũng có xét trường hợp v_s và v_f ngược pha.

$$v_i = v_s - v_f \quad => v_s = v_i + v_f \quad => A_{VF} = \frac{v_o}{v_i + v_f}$$

Suy ra: $A_{VF} = \dfrac{A_{VO}}{1 + b.A_{VO}}$ $\quad => F = 1 + b.A_{VO}$

Ta có các trường hợp sau:

a) Nếu $F = 1 + b.A_{VO} > 1$ $\quad => A_{VF} < A_{VO}$

Mạch hồi tiếp có tác dụng làm giảm độ khuếch đại nên là mạch hồi tiếp âm. Khi đó $b.A_{VO} > 0$, nghĩa là b và A_{VO} cùng dấu.

b) Nếu $F = 1 + b.A_{VO} < 1$ $\quad => A_{VF} > A_{VO}$

Mạch hồi tiếp có tác dụng làm tăng độ khuếch đại nên là mạch hồi tiếp dương. Khi đó $b.A_{VO} < 0$, nghĩa là b và A_{VO} trái dấu.

c) Nếu transistor có $b.A_{VO} >> 1$ thì

$$A_{VF} = \frac{A_{VO}}{1 + b.A_{VO}} \approx \frac{A_{VO}}{b.A_{VO}} = \frac{1}{b}$$

d) Nếu $F = 1 + b.A_{VO} = 0$ $\quad => \quad b.A_{VO} = -1$

Trường hợp này ta có:

$$A_{VF} = \frac{A_{VO}}{1 + b.A_{VO}} \quad \rightarrow \infty$$

$$b.A_{VO} = 1 \quad => \frac{v_f}{v_o} . \frac{v_o}{v_i} = 1 \quad => \frac{v_f}{v_i} = 1$$

Lúc đó mạch tự tạo ra tín hiệu và trở thành mạch dao động.

Trường hợp $F = 1 + b.A_{VO}$ là trường hợp điện áp hồi tiếp v_f được ghép nối tiếp với nguồn tín hiệu v_s.

§3.4- BẢNG PHÂN LOẠI HỒI TIẾP THEO THỪA SỐ HỒI TIẾP F

Hồi tiếp song song	Hồi tiếp nối tiếp
$A_{VF} = \dfrac{A_{VO}}{1 - b.A_{VO}}$	$A_{VF} = \dfrac{A_{VO}}{1 + b.A_{VO}}$
$F = 1 - b.A_{VO} > 1 \Rightarrow b.A_{VO} < 0$ b và A_{VO} cùng dấu => Hồi tiếp âm	$F = 1 - b.A_{VO} > 1 \Rightarrow b.A_{VO} > 0$ b và A_{VO} cùng dấu => Hồi tiếp âm
$F = 1 - b.A_{VO} < 1 \Rightarrow b.A_{VO} > 0$ b và A_{VO} cùng dấu => Hồi tiếp dương	$F = 1 - b.A_{VO} < 1 \Rightarrow b.A_{VO} < 0$ b và A_{VO} cùng dấu => Hồi tiếp âm
$-b.A_{VO} >> 1$ => b và A_{VO} trái dấu. Hồi tiếp âm với $A_{VF} = -\dfrac{1}{b}$	$b.A_{VO} >> 1$ => b và A_{VO} trái dấu Hồi tiếp âm với $A_{VF} = -\dfrac{1}{b}$
$F = 1 - b.A_{VO} = 0 \Rightarrow b.A_{VO} = 1$ => $A_{VF} \rightarrow \infty$ và thành mạch dao động	$F = 1 - b.A_{VO} = 0 \Rightarrow b.A_{VO} = -1$ => $A_{VF} \rightarrow \infty$ và thành mạch dao động

§3.5- HỒI TIẾP ÂM DÒNG ĐIỆN GHÉP NỐI TIẾP

1- Sơ đồ (hình 3.3 và 3.4)

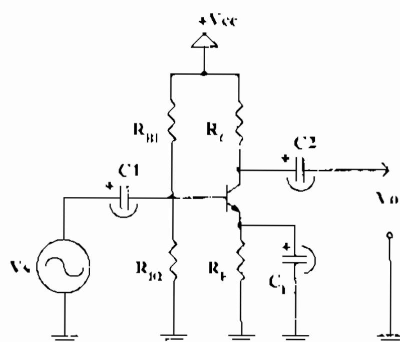
2. Nguyên lý

Trong sơ đồ hai mạch khuếch đại trên hình 3.3 và 3.4, các tụ điện liên lạc C_1 - C_2 và tụ điện phân dòng C_E được chọn có trị số đủ lớn sao cho ở tần số tiêu biểu của tín hiệu nguồn v_s thì dung kháng X_C rất nhỏ nên được coi như nối tắt.

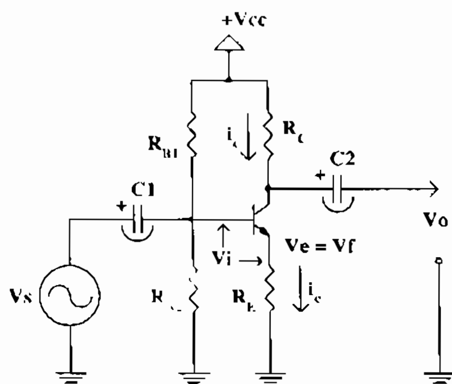
Thường chọn:

$C_1 = C_2 = 1\mu F \div 10\mu F$ (cho f = 1kHz)

$C_E = 24\mu F \div 100\mu F$ (cho f = 1kHz)



Hình 3.3: Mạch khuếch đại không hồi tiếp



Hình 3.4: Mạch khuếch đại hồi tiếp

Như vậy, tụ C_E trong mạch điện hình 3.3 coi như nối tắt điện trở R_E xuống mass đối với tín hiệu xoay chiều. Đây chính là mạch khuếch đại ráp kiểu E chung đã được phân tích trong chương 2. Độ khuếch đại điện áp của transistor là :

$$A_{VO} = -\beta \frac{R_C}{h_{ie}} \approx \text{vài trăm lần.}$$

Trong mạch điện hình 3.4 không dùng tụ điện C_E nên dòng điện tín hiệu ở ngõ ra là $i_e \approx i_c$ đi qua R_E tạo ra điện áp xoay chiều v_e cũng chính là điện áp hồi tiếp v_f.

Ta có : $v_f = v_e = i_e R_E$

Trong chương 2 đã phân tích và tính độ khuếch đại điện áp của mạch chính là khuếch đại hồi tiếp:

$$A_V = A_{VF} = \frac{R_C}{R_E}$$

Dùng lý thuyết hồi tiếp để phân tích ta có:

- Hệ số hồi tiếp: $b = \frac{v_f}{v_o} = -\frac{v_e}{v_c}$ (dấu – do E và C đảo pha)

$$\Rightarrow \quad b = -\frac{i_e.R_E}{i_e R_C} \approx -\frac{R_E}{R_C}$$

Trong bảng phân loại hồi tiếp theo thừa số F ta có:

$$A_{AF} = \frac{A_{VO}}{1 + b.A_{VO}}$$

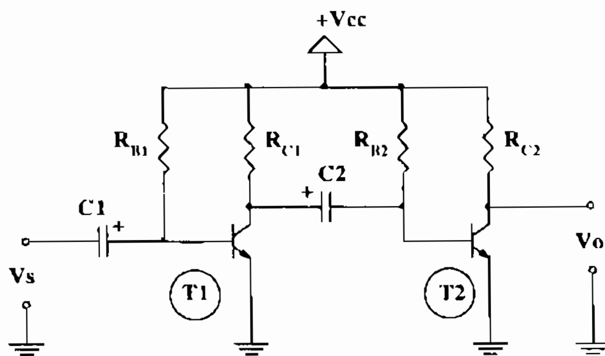
Do $A_{VO} \approx$ vài trăm lần nên $bA_{VO} >> 1$, như vậy:

$$A_{VO} \approx \frac{A_{VO}}{b.A_{VO}} = \frac{1}{b} = -\frac{R_E}{R_C}$$

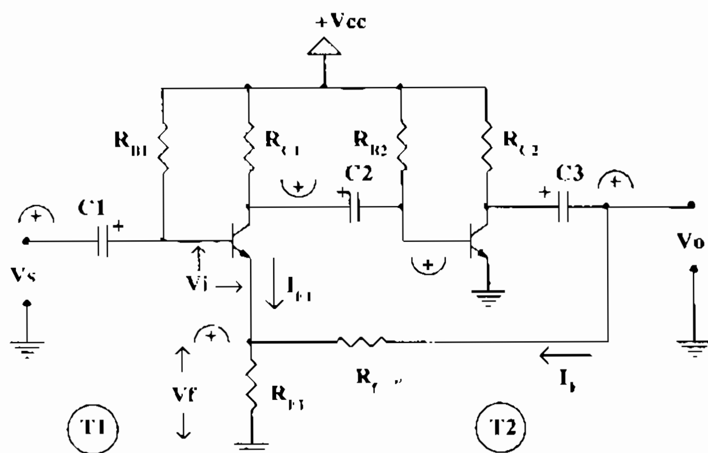
Ta vẫn có kết quả như trên mạch tương đương nhưng cách tính đơn giản hơn.

§3.6- HỒI TIẾP ÂM ĐIỆN ÁP GHÉP NỐI TIẾP

1) Sơ đồ



Hình 3.5: Mạch khuếch đại không hồi tiếp



Hình 3.6: Mạch khuếch đại hồi tiếp

2) Nguyên lý

Mạch điện hình 3.5 là mạch khuếch đại hai tầng không hồi tiếp. Mạch này đã được phân tích trong chương 2 và độ khuếch đại điện áp chung của hai tầng là:

$$A_{VO} = A_{VO1} . A_{VO2} = \beta_1 . \beta_2 . \frac{R_{C2}}{h_{ie1}} \qquad \text{(rất lớn)}$$

Trong mạch điện hình 3.6, điện trở R_{E1} và R_f được thêm vào là cầu phân áp lấy điện áp ngõ ra v_o cho ra điện áp v_f trên R_{E1} để tạo sự hồi tiếp.

Điện áp hồi tiếp v_f lấy trên R_{E1} được tính bởi công thức:

$$v_f = v_o . \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_f}$$

Theo định nghĩa của mạch hồi tiếp ta có:

$$v_f = b v_o$$

Suy ra hệ số hồi tiếp b của mạch là:

$$b = \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_f} \qquad \text{và} \quad b > 0 \qquad \text{(b là số dương)}$$

Trong bảng phân loại hồi tiếp theo thừa số F ta có:

$$A_{VF} = \frac{A_{VO}}{1 + b.A_{VO}}$$

Do A_{VO} rất lớn (≈ vài trăm lần) nên $b.A_{VO} >> 1$, như vậy:

$$\boxed{A_{VF} = \frac{A_{VO}}{b.A_{VO}} = \frac{1}{b} = \frac{R_{E1} + R_f}{R_{E1}}} \qquad (A_{VF} < A_{VO})$$

Độ khuếch đại hồi tiếp sẽ phụ thuộc rất lớn vào điện trở R_f. Điện trở R_{E1} có phạm vi thay đổi không lớn lắm vì ảnh hưởng đến trạng thái phân cực một chiều của transistor T_1.

Ta cũng có thể phân tích nguyên lý của mạch dựa vào góc pha của tín hiệu nguồn v_s – v_i - v_o và v_f như sau:

- Khi v_s có bán kỳ dương thì T_1 dẫn mạnh và cực C_1 có bán kỳ âm ra đưa vào cực B_2.
- Khi T_2 nhận bán kỳ âm vào cực B_2 thì T_2 dẫn yếu và cực C_2 có bán kỳ dương ra, v_o có bán kỳ dương.
- Tín hiệu bán kỳ dương của v_o tạo ra điện áp hồi tiếp v_f cũng là bán kỳ dương nên v_s và v_f cùng dấu.

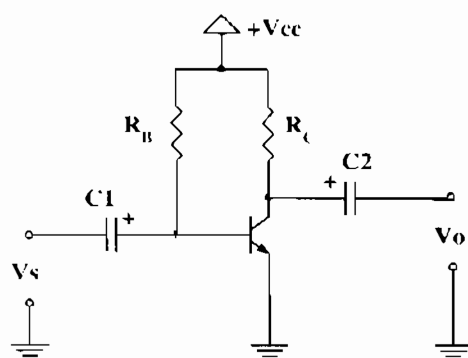
Ta đã có: $v_s = v_i + v_f$

$$=> v_i = v_s - v_f$$

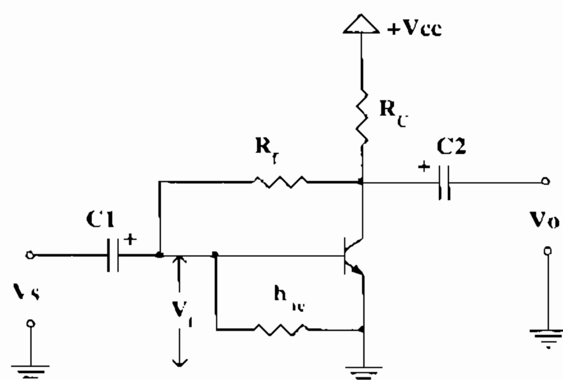
Do v_s và v_f cùng dấu nên khi v_i bị giảm biên độ sẽ làm giảm biên độ điện áp ra v_o, mạch hồi tiếp là loại hồi tiếp âm.

§3.7- HỒI TIẾP ÂM ĐIỆN ÁP GHÉP SONG SONG

1) Sơ đồ



Hình 3.7: Mạch khuếch đại không hồi tiếp



Hình 3.8: Mạch khuếch đại có hồi tiếp

2) Nguyên lý

Mạch điện hình 3.7 là mạch khuếch đại cơ bản dùng một transistor và không có hồi tiếp. Độ khuếch đại điện áp của mạch là:

$$A_{VO} = -\beta.\frac{R_C}{h_{ie}} \qquad (\approx \text{vài trăm lần})$$

Mạch hình 3.8 có điện trở R_f thay R_B lấy điện áp cực C (V_C) để phân cực một chiều cho cực B đồng thời là điện trở hồi tiếp để lấy điện áp ra v_o đưa trở lại ngõ vào.

Điện trở R_f kết hợp với tổng trở ngõ vào h_{ie} tạo thành cầu phân áp cho ra điện áp hồi tiếp v_f tính theo công thức:

$$v_f = v_o.\frac{h_{ie}}{h_{ie} + R_f}$$

Theo định nghĩa của mạch hồi tiếp ta có:

$$v_f = b.v_o$$

Suy ra hệ số hồi tiếp b là:

$$b = \frac{h_{ie}}{h_{ie} + R_f}$$ (b là hệ số dương)

Theo sơ đồ này, điện áp nguồn v_s và điện áp hồi tiếp v_f cùng được đưa vào cực B nên đây là mạch hồi tiếp ghép song song.

Ta có: $v_i = v_s + v_f$ => $v_s = v_i - v_f$

Trong bảng phân loại hồi tiếp theo thừa số F ta có:

$$A_{VF} = \frac{A_{VO}}{1 - b.A_{VO}}$$

Do A_{VO} rất lớn (≈ vài trăm lần) nên $b.A_{VO} >> 1$ và như vậy:

$$\boxed{A_{VF} = \frac{A_{VO}}{- b.A_{VO}} = -\frac{1}{b} = -\frac{h_{ie} + R_f}{h_{ie}}}$$

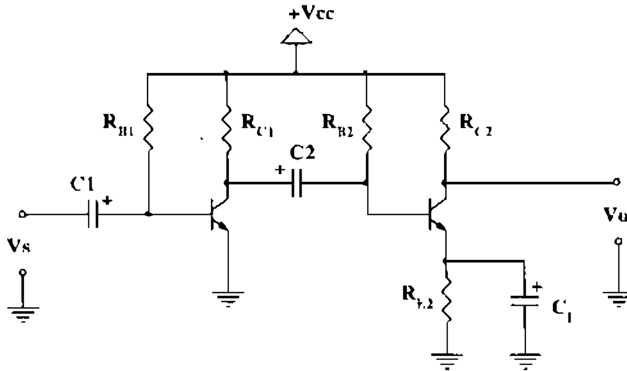
Độ khuếch đại hồi tiếp sẽ phụ thuộc rất lớn vào điện trở R_f vì tổng trở ngõ vào h_{ie} đối với mỗi transistor gần như không đổi.

Ta cũng có thể phân tích nguyên lý của mạch dựa vào góc pha của tín hiệu nguồn $v_s - v_i - v_o$ và v_f như sau:

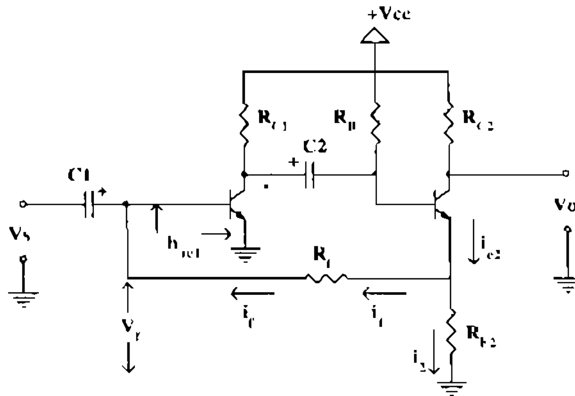
- khi v_s có bán kỳ dương thì ngõ ra v_o có bán kỳ âm do mạch khuếch đại đảo pha, v_o có tín hiệu bán kỳ âm.
- do hệ số b dương nên điện áp hồi tiếp v_f có bán kỳ âm.
- điện áp ngõ vào v_i nhận hai tín hiệu v_s và v_f là hai tín hiệu đảo pha nên tín hiệu vào bị giảm nhỏ sẽ làm cho tín hiệu ra v_o bị giảm, mạch hồi tiếp là loại hồi tiếp âm.

§3.8- HỒI TIẾP ÂM DÒNG ĐIỆN GHÉP SONG SONG

1) Sơ đồ



Hình 3.9: Mạch khuếch đại không hồi tiếp



Hình 3.10: Mạch khuếch đại hồi tiếp

2) Nguyên lý

Mạch điện 3.9 là mạch khuếch đại không hồi tiếp có hai tầng. Độ khuếch đại điện áp chung cho hai tầng là:

$$A_{VO} = \beta_1.\beta_2 \frac{R_{C1}}{h_{ie1}} \qquad \text{(rất lớn)}$$

Trong đó $\beta_1.\beta_2$ là độ khuếch đại dòng điện chung cho cả hai tầng gọi là độ khuếch đại dòng điện hở (không hồi tiếp) A_{IO}.

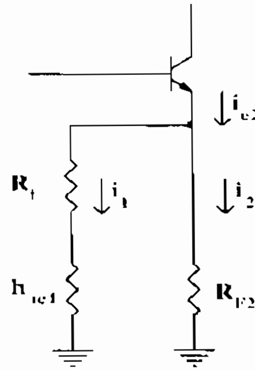
Ta có: $A_{IO} = \beta_1.\beta_2$ => $A_{VO} = A_{IO}\dfrac{R_{C2}}{h_{ie1}}$

Mạch điện hình 3.10 dùng điện trở R_f lấy điện áp V_{E2} để phân cực cho cực B_1 thay cho R_{B1}, đồng thời lấy tín hiệu ra trên cực E_2 để hồi tiếp về cực B_1. Tín hiệu điện áp trên cực E_2 do dòng điện ra $i_o = i_{c2} \approx i_{e2}$ qua R_{E2} tạo ra nên được gọi là mạch hồi tiếp dòng điện. Tín hiệu nguồn v_s và tín hiệu hồi tiếp v_f cũng đưa vào cực B nên đây là mạch hồi tiếp ghép song song.

Trong mạch hồi tiếp loại này ta sẽ phân tích bằng độ khuếch đại dòng điện hở A_{IO} và độ khuếch đại dòng điện hồi tiếp A_{IF}.

Ta có: $A_{IO} = \dfrac{i_o}{i_i} = \dfrac{i_{c2}}{i_{b1}} = \beta_1.\beta_2$ (đã tính như trên)

Từ mạch hồi tiếp dòng điện bằng R_f, có thể vẽ mạch tương đương như hình 3.11.



Hình 3.11: Mạch tương đương

Ta có: $i_{e2} = i_1 + i_2$

$i_1(R_f + h_{ie1}) = i_2.R_{E2} = v_{e2}$

$$=> \frac{i_2}{i_1} = \frac{R_f + h_{ie1}}{R_{E2}}$$

$$=> \frac{i_1}{i_1} + \frac{i_2}{i_1} = \frac{R_{E2}}{R_{E2}} + \frac{R_f + h_{ie1}}{R_{E2}} = \frac{R_{E2} + R_f + h_{ie1}}{R_{E2}}$$

$$=> \quad \frac{i_{c2}}{i_1} = \frac{R_{E2} + R_f + h_{ie1}}{R_{E2}}$$

do $h_{ie1} << R_f$ nên $\frac{i_{c2}}{i_1} \approx \frac{R_{E2} + R_f}{R_{E2}}$

Suy ra: $\frac{i_1}{i_{c2}} = \frac{R_{E2}}{R_{E2} + R_f}$ mà $i_1 = i_f$ và $i_{c2} = i_0$

nên hệ số hồi tiếp dòng điện là h_f được tính theo công thức:

$$h_f = \frac{i_f}{i_0} = \frac{R_{E2}}{R_{E2} + R_f}$$

Độ khuếch đại dòng điện có hồi tiếp gọi là A_{IF} được tính theo công thức:

$$A_{IF} = \frac{1}{h} = \frac{R_{E2}}{R_{E2} + R_f}$$

Từ độ khuếch đại dòng điện hồi tiếp A_{IF} ta có thể tính độ khuếch đại điện áp hồi tiếp A_{VF} theo công thức:

$$A_{VF} = A_{IF} \frac{R_{C2}}{h_{ie2}}$$

$$=> \quad A_{VF} = \frac{R_{E2} + R_f}{R_{E2}} \cdot \frac{R_{C2}}{h_{ie1}}$$

Như thế độ khuếch đại hồi tiếp phụ thuộc rất lớn vào R_f còn điện áp trở R_{E2} có phạm vi thay đổi không lớn lắm vì ảnh hưởng đến trạng thái phân cực một chiều.

Nếu dựa vào góc pha của tín hiệu để phân tích thì ta có:

- khi điện áp nguồn v_s có bán kỳ dương thì T_1 khuếch đại đảo pha cho ra bán kỳ âm, qua T_2 lại khuếch đại đảo pha cho ra bán kỳ dương ở ngõ ra v_o.
- tín hiệu hồi tiếp lấy trên cực E_2 là tín hiệu đảo pha với cực C_2 ở ngõ ra nên tín hiệu hồi tiếp sẽ là bán kỳ âm.
- tín hiệu hồi tiếp v_f có bán kỳ âm cũng đưa vào cực B với điện áp nguồn v_s. Do ngược pha với v_s nên nó làm giảm

biên độ của điện áp tín hiệu vào v_i và giảm điện áp tín hiệu ra v_o, vì thế mạch hồi tiếp này là loại mạch hồi tiếp âm.

§3.9- ẢNH HƯỞNG HỒI TIẾP ÂM ĐẾN CÁC THÔNG SỐ

Mạch hồi tiếp âm ngoài tác dụng làm giảm độ khuếch đại điện áp còn làm thay đổi các thông số và chỉ tiêu kỹ thuật khác của mạch như tổng trở vào Z_i, tổng trở ra Z_o, độ rộng băng thông B.

Để thấy tác dụng của hồi tiếp âm ảnh hưởng lên các thông số trên như thế nào, người ta thường dùng mạch tương đương để phân tích. Ở đây chỉ cho bảng kết quả sau khi phân tích, tính toán (phần tích phân, tính toán rất dài).

Gọi Z_i, Z_o, A_{VO}, B là các thông số của mạch khi không có hồi tiếp âm và gọi Z_{if}, Z_{of}, B_F là các thông số của mạch khi có hồi âm ta có bảng kết quả như sau:

Các thông số kỹ thuật	Hồi tiếp âm dòng điện nối tiếp	Hồi tiếp âm điện áp nối tiếp	Hồi tiếp âm điện áp song song	Hồi tiếp âm dòng điện song song
Tổng trở ngõ vào	$Z_{if} = Z_i.F$	$Z_{if} = Z_i.F$	$Z_{if} = \frac{Z_i}{F}$	$Z_{if} = \frac{Z_i}{F}$
Tổng trở ngõ ra	$Z_{of} = Z_o.F$	$Z_{of} = \frac{Z_o}{F}$	$Z_{of} = \frac{Z_o}{F}$	$Z_{of} = Z_o.F$
Độ khuếch đại điện áp	$A_{VF} = \frac{A_{VO}}{F}$	$A_{VF} = \frac{A_{VO}}{F}$	$A_{VF} = \frac{A_{VO}}{F}$	$A_{VF} = \frac{A_{VO}}{F}$
Độ rộng băng thông	$B_F = B.F$	$B_F = B.F$	$B_F = B.F$	$B_F = B.F$

Trong bảng kết quả trên F là thừa số hồi tiếp và F = 1 ± b.Avo

Nhận xét:

- Mạch hồi tiếp âm dòng điện hồi tiếp làm tăng tổng trở ngõ vào và ngõ ra lên F lần.
- Mạch hồi tiếp âm điện áp nối tiếp làm tăng tổng trở ngõ vào và giảm tổng trở ngõ ra F lần.
- Mạch hồi tiếp âm dòng điện áp song song làm giảm tổng trở ngõ vào và ngõ ra xuống F lần.
- Mạch hồi tiếp âm dòng điện song song làm giảm tổng trở ngõ vào và tăng tổng trở ngõ ra F lần.
- Tất cả các mạch hồi tiếp âm đều làm độ khuếch đại điện áp giảm xuống F lần và độ rộng băng thông tăng lên F lần.

Các mạch hồi tiếp âm làm tăng tổng trở ngõ vào thường được dùng cho tầng khuếch đại đầu tiên để không làm giảm biên độ của tín hiệu nguồn v_s. Các mạch hồi tiếp âm làm giảm tổng trở ngõ ra thường được dùng cho tầng cuối cùng để tăng khả năng cấp dòng cho tải.

Ngoài các thông số kỹ thuật trên, mạch hồi tiếp còn có tác dụng giảm biên độ nhiễu, giảm độ méo phi tuyến và méo tần số.

Chương 4

MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT

§4.1- ĐẠI CƯƠNG

Mạch khuếch đại công suất là mạch khuếch đại ở tầng cuối cùng để tạo ra công suất cung cấp cho tải. Công suất cấp cho tải thường khoảng vài watt đến vài trăm watt, công suất này thường có mức điện áp khá cao hay cường độ dòng điện lớn.

Do mạch khuếch đại công suất ở tầng cuối nên tín hiệu đưa vào mạch công suất có biên độ lớn vì đã qua nhiều tầng khuếch đại. Khi khuếch đại tín hiệu có biên độ lớn thì transistor không được xem là mạch khuếch đại tuyến tính, do đó không thể dùng mạch tương đương theo thông số h để phân tích, tính toán cho mạch khuếch đại công suất mà người ta dùng phương pháp đồ thị.

1. Hạng khuếch đại trong mạch công suất

Trong chương 1 "Lý thuyết cơ bản của mạch khuếch đại" có trình bày đặc điểm của các hạng khuếch đại A – B – AB và C.

Đối với mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ thì thường chỉ dùng khuếch đại hạng A nhưng đối với mạch khuếch đại công suất thì có thể dùng cả bốn hạng trên tùy theo nhiệm vụ của từng mạch.

Mạch khuếch đại hạng A có hiệu suất thấp (< 50%) nên chỉ dùng trong trường hợp công suất ra nhỏ khoảng vài watt.

Mạch khuếch đại hạng B hay AB có hiệu suất cao hơn (khoảng 60% - 70%) nhưng mỗi transistor chỉ khuếch đại được một bán kỳ nên phải dùng hai transistor khuếch đại luân phiên.

Mạch khuếch đại hạng C có hiệu suất cao nhất (75% - 80%) nhưng có độ méo dạng tín hiệu rất lớn nên chỉ dùng trong các mạch khuếch đại cao tần có tải cộng hưởng hay dùng trong các mạch logic.

2. Các thông số của mạch khuếch đại công suất

Ngoài các thông số kỹ thuật chung của các mạch khuếch đại như: tổng trở ngõ vào, tổng trở ngõ ra, độ khuếch đại điện áp, độ khuếch đại dòng điện ... mạch khuếch đại công suất còn có hai thông số kỹ thuật đặc trưng khác là:

- Độ khuếch đại công suất: là tỉ số giữa công suất ra P_o và công suất vào P_i.

$$A_P = \frac{P_O}{P_i}$$

- Hiệu suất của mạch là tỉ số giữa công suất ra P_o và công suất điện một chiều cung cấp cho mạch. Hiệu suất thường tính theo tỉ lệ phần trăm.

$$\eta = \frac{P_O}{P_{DC}} 100\%$$

3. Công suất tiêu tán cực đại của transistor

Trong các thông số kỹ thuật của transistor, công suất tiêu tán cực đại P_{Dmax} là một thông số quan trọng đối với mạch khuếch đại công suất. Đây là công suất lớn nhất mà transistor có thể chịu đựng liên tục nếu được giải nhiệt đầy đủ. P_{Dmax} do chữ dissolution (tiêu tán).

Trên đặc tuyến I_C/V_{CE} trị số P_{Dmax} chính là đường hyperbol mà: $P_{Dmax} = V_{CE} I_C$, suy ra: $I_C = \frac{P_{Dmax}}{V_{CE}}$

Nếu có giá trị P_{Dmax} thì ứng với mỗi trị số V_{CE} sẽ cho một trị số I_C tương ứng như trên hình 4.1.

Thí dụ: một transistor có P_{Dmax} = 500mW

- nếu V_{CE} = 5V thì $I_C = \frac{500mW}{5V} = 100mA$

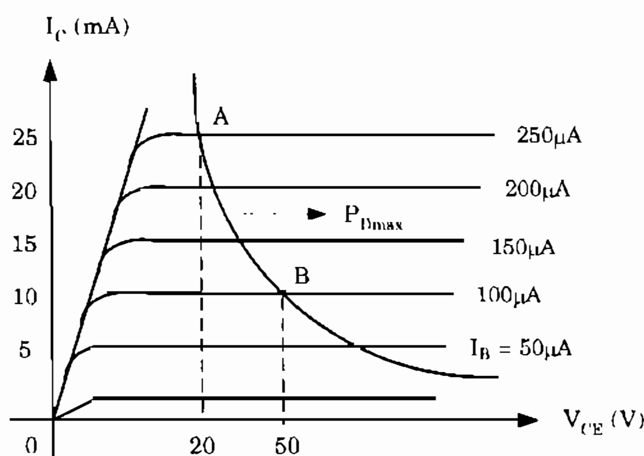
- nếu V_{CE} = 10V thì $I_C = \frac{500mW}{10V} = 50mA$

$$\text{- nếu } V_{CE} = 20V \quad \text{thì } I_C = \frac{500mW}{20V} = 25mA$$

$$\text{- nếu } V_{CE} = 50V \quad \text{thì } I_C = \frac{500mW}{50V} = 10mA$$

Hình 4.1 là đặc tuyến I_C/V_{CE} minh họa đường giới hạn P_{Dmax} cho thí dụ trên. Hai điểm nằm trên đường P_{Dmax} với toạ độ là A ($I_C = 25mA$, $V_{CE} = 20V$) và B ($I_C = 10mA$, $V_{CE} = 50V$).

Nếu transistor làm việc trên vùng có gạch chéo nghĩa là vượt quá trị số giới hạn P_{Dmax} thì transistor sẽ bị hư do quá nhiệt.

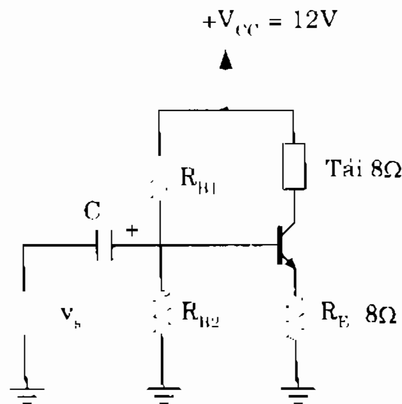


Hình 4.1: Đường giới hạn P_{Max}

§4.2- MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT HẠNG A

Mạch khuếch đại công suất hạng A chỉ dùng một transistor nên còn gọi là mạch công suất đơn.

1. Mạch cơ bản



Hình 4.2: Mạch công suất cơ bản

Trong mạch điện hình 4.2 dùng một transistor ráp kiểu E chung, tải đặt trực tiếp ở cực C.

Thông thường tải có trị số điện trở nhỏ để khi nhận dòng điện lớn sẽ cho ra công suất lớn, vì công suất tỉ lệ với với bình phương dòng điện theo công thức: $P = RI^2$.

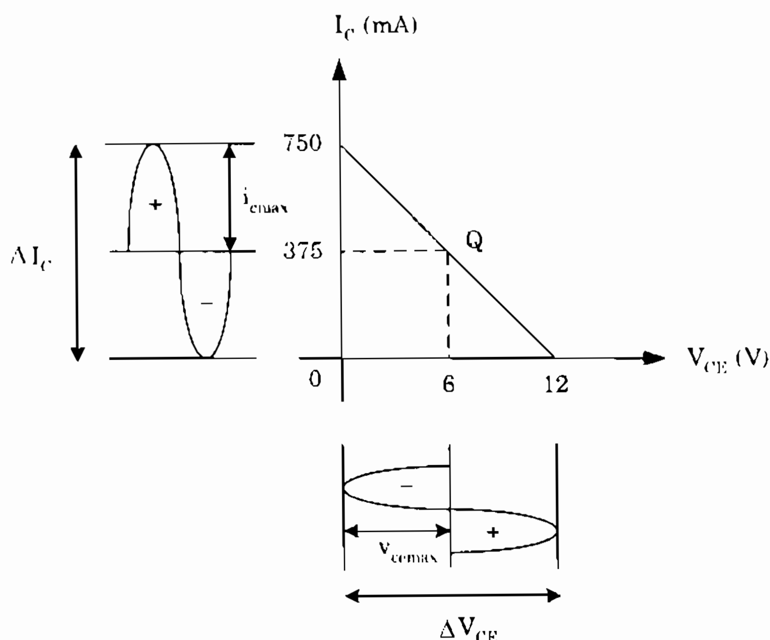
Thí dụ: Tải là loa trong các máy khuếch âm thường có tổng trở là 4Ω, 8Ω hay 16Ω.

Giả thiết tải có điện trở $R_L = 8\Omega$, $R_E = 8\Omega$ và $V_{CC} = 12V$ như hình 4.2. Transistor khuếch đại hạng A sẽ có:

$V_{CE} = ½ V_{CC} = ½\ 12 = 6V$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_L + R_E} = \frac{V_{CC} - \frac{1}{2}V_{CC}}{R_L + R_E} = \frac{1}{2}\frac{V_{CC}}{R_L + R_E} = \frac{1}{2}\frac{12}{8+8} = 375mA$$

Như vậy, điểm làm việc tĩnh của transistor có tọa độ Q ($V_{CE} = 6V$, $I_C = 375mA$).



Hình 4.3: Dạng sóng trên đặc tuyến ngõ ra

Khảo sát dạng sóng trên đặc tuyến ngõ ra hình 4.3 ta có:

$$\Delta I_C = 2i_{cmax} = 750mA$$

$$\Delta V_{CE} = 2v_{cemax} = 12V$$

Suy ra: $i_{cmax} = 375mA = 0{,}375A$

$$v_{cemax} = 6V$$

Công suất xoay chiều ra trên tải R_L và R_E là công suất hiệu dụng được tính theo công thức:

$$P_{Omax} = \frac{v_{cemax}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{i_{cmax}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} v_{cemax} \, i_{cmax}$$

$$= \frac{1}{2} 6 \, x \, 0{,}375 = 1{,}125W$$

Công suất xoay chiều ra trên tải R_L:

$$P'_{O\max} = R_L \left(\frac{i_{C\max}}{\sqrt{2}}\right)^2 = 8\left(\frac{0,375}{\sqrt{2}}\right)^2 = 0,562W$$

Công suất tiêu tán nhiệt trung bình trên transistor:

$$P_D = I_C V_{CE} = \frac{1}{2} \times \frac{V_{CC}}{R_L + R_E} \times \frac{1}{2} V_{CC}$$

$$\Rightarrow \quad P_D = \frac{1}{4} \times \frac{V_{CC}^2}{R_L + R_E} = \frac{1}{4} \times \frac{12^2}{8 + 8} = 2,25W$$

Công suất tiêu tán nhiệt trung bình trên tải và R_E:

$$P_R = (R_L + R_E) I_C^2 = R_L + R_E \left(\frac{1}{2} \times \frac{V_{CC}}{R_L + R_E}\right)^2$$

$$\Rightarrow \quad P_R = \frac{1}{4} \times \frac{V_{CC}^2}{R_L + R_E} = \frac{1}{4} \times \frac{12^2}{8 + 8} = 2,25W$$

Đối với hạng A do $V_{CE} = ½ V_{CC}$ nên công suất $P_D = P_R$.

Công suất điện được cung cấp bởi nguồn V_{CC} là:

$$P_{CC} = P_D + P_R = \frac{1}{4} \times \frac{V_{CC}^2}{R_L + R_E} + \frac{1}{4} \times \frac{V_{CC}^2}{R_L + R_E}$$

$$\Rightarrow \quad P_{CC} = \frac{1}{2} \times \frac{V_{CC}^2}{R_L + R_E} = \frac{1}{2} \times \frac{12^2}{8 + 8} = 4,5W$$

Hiệu suất của mạch là:

$$\eta = \frac{P'_{O\max}}{P_{CC}} 100\% = \frac{0,562}{4,5} 100\% = 12,5\%$$

Trường hợp không có R_E thì hiệu suất của mạch là:

$$\eta = \frac{P_{O\max}}{P_{CC}} 100\% = \frac{1,125}{4,5} 100\% = 25\%$$

Đây là hiệu suất tối đa có thể nhận được trên tải đối với mạch khuếch đại công suất hạng A theo sơ đồ cơ bản hình 4.2.

Nhận xét:

- Điện trở R_E trong mạch công suất nhận dòng điện tải rất lớn nên tiêu hao công suất cũng rất lớn một cách vô ích. Trong các mạch khuếch đại công suất như trên người ta thường không dùng điện trở R_E Trường hợp cần dùng R_E để ổn định nhiệt thì chỉ chọn trị số R_E rất nhỏ so với tải R_L để công suất tiêu hao trên R_E không đáng kể.

- Do tải thường có trị số điện trở nhỏ nên dòng điện tĩnh qua transistor rất lớn, trị số này có thể quá giá trị I_{Cmax} của một số transistor trong khi công suất tiêu tán thực sự không lớn lắm.

- Mạch khuếch đại có hiệu suất thấp ($\eta \le 25\%$).

Để cải tiến người ta dùng mạch khuếch đại có biến áp ra.

2. Mạch khuếch đại hạng A có biến áp ra

Mạch điện hình 4.4 là mạch khuếch đại công suất dùng biến áp ra đưa tín hiệu xoay chiều ở ngõ ra của transistor ra tải R_L.

Bộ biến áp có ba tỉ lệ theo số vòng dây N_1 ở sơ cấp và N_2 ở thứ cấp là:

- Tỉ lệ điện áp: $\dfrac{V_1}{V_2} = \dfrac{N_1}{N_2}$

- Tỉ lệ cường độ dòng điện: $\dfrac{I_1}{I_2} = \dfrac{N_2}{N_1}$

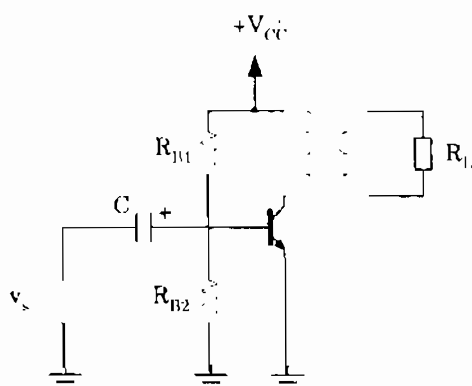
- Tỉ lệ công suất: $\dfrac{P_1}{P_2} = 1$

- Tỉ lệ tổng trở: $\dfrac{Z_1}{Z_2} = \left(\dfrac{N_1}{N_2}\right)^2$

Các giá trị điện áp, dòng điện, công suất trong các tỉ lệ trên là giá trị hiệu dụng.

Nếu tải nối trực tiếp vào cực C của transistor như trong hình 4.2 thì công suất P_R là công suất nhiệt tiêu hao vô ích trên tải và R_E.

Muốn tăng hiệu suất cho mạch khuếch đại người ta dùng biến áp ở ngõ ra để loại bỏ công suất P_R.



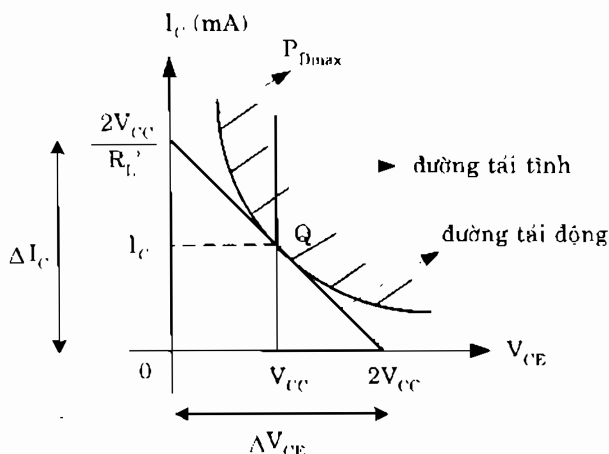
Hình 4.4: Khuếch đại có biến áp ra

Bây giờ tải là R_L đặt ở thứ cấp nên trong tính toán phải quy đổi về tải ở sơ cấp gọi là R_L' và tính theo tỉ lệ về tổng trở.

Ta có: $$\frac{R_L'}{R_L} = \frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

Suy ra: $$R_L' = R_L\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

Thí dụ: tải $R_L = 8\Omega$, biến áp ra có tỉ lệ $\frac{N_1}{N_2} = 25$ thì tải quy về sơ cấp là: $$R_L' = R_L\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = 8\,(25)^2 = 5\,k\Omega$$



Hình 4.5: Đặc tuyến ngõ ra với tải tĩnh và tải động

Khi xét trạng thái một chiều thì điện trở một chiều của cuộn sơ cấp chính là điện trở của dây đồng quấn cuộn sơ cấp có trị số rất nhỏ khoảng vài chục Ω. Như vậy, đường tải tĩnh có trị số điện trở rất nhỏ (vài chục Ω) nên là đường gần như thẳng đứng (hơi nghiêng về phía trái) từ điểm $V_{CE} = V_{CC}$ kẻ thẳng lên. Đường tải động có trị số điện trở R_L' lớn hơn hàng trăm lần (vài kΩ) nên có độ dốc nghiêng như hình 4.5.

Để tận dụng công suất tiêu tán cực đại của transistor, thường chọn điểm hoạt động Q là giao điểm giữa đường tải tĩnh và đường công suất P_{Dmax}, đường tải động sẽ đi qua Q và tiếp xúc với đường P_{Dmax}. Đường tải động sẽ cắt trục hoành ở trị số $V_{CE} = 2V_{CC}$ và cắt trục tung ở trị số $I_{Cmax} = 2V_{CC}/R_L'$ (hình 4.5).

Qua đặc tuyến ngõ ra với đường tải động, khoảng biến thiên điện áp ra ΔV_{CE} bây giờ là từ 0V đến $2V_{CC}$ nghĩa là tăng gấp hai lần so với mạch cơ bản không có biến áp ra.

Ta có: $\Delta V_{CE} = 2V_{CC} \Rightarrow v_{cemax} = V_{CC}$

$$\Delta I_C = \frac{2V_{CC}}{R_L'} \Rightarrow i_{c\,max} = \frac{V_{CC}}{R_L'}$$

Công suất ra trên tải: (xét ở sơ cấp)

$$P'_{O\max} = \frac{i_{c\max}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{v_{ce\max}}{\sqrt{2}} = \frac{V_{CC}^2}{2R'_l}$$

Qua biến áp lý tưởng có tỉ lệ công suất $P_1/P_2 = 1$ thì công suất này cũng chính là công suất ra trên tải ở thứ cấp.

Công suất tiêu tán nhiệt trung bình trên transistor:

$$P_D = V_{CC}.I_C = V_{CC}\frac{V_{CC}}{R'_L} = \frac{V_{CC}^2}{R'_L}$$

Trong mạch, cuộn sơ cấp có điện trở một chiều nhỏ không đáng kể nên công suất tiêu hao trên điện trở của cuộn dây P_R xem như bằng không.

Công suất điện được cung cấp bởi nguồn V_{CC}:

$$P_{CC} = P_D = \frac{V_{CC}^2}{R'_L}$$

Hiệu suất của mạch:

$$\eta = \frac{P'_{O\max}}{P_{CC}} = \frac{\dfrac{V_{CC}^2}{2R'_L}}{\dfrac{V_{CC}^2}{R'_L}} 100\% = 50\%$$

Như vậy, khi có biến áp ở ngõ ra hiệu suất của mạch đã được tăng lên từ 25% thành 50%.

Trong thực tế vẫn có công suất tiêu hao trên điện trở một chiều của cuộn sơ cấp nên vẫn có là P_R và các biến áp có hiệu suất tối đa khoảng 80% đến 90% (do có tổn hao trong mạch từ) nên hiệu suất của mạch khuếch đại công suất có biến áp ra cũng chỉ đạt đến khoảng 35%.

3. Bài toán phân tích mạch

Với một mạch khuếch đại công suất cụ thể ta có thể tính các thông số kỹ thuật của mạch như sau:

Tính điện áp phân cực V_B:

$$V_B \approx V_{CC}\frac{R_{B2}}{R_{B1}+R_{B2}}$$

$$\approx 12\frac{0{,}82}{2{,}2+0{,}82} = 3{,}25V$$

Tính dòng điện tĩnh I_C:

$$I_C \cong I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} = \frac{3{,}25-0{,}7}{47} = 54mA$$

Công suất ra trên tải ở sơ cấp:

$$P'_{O\max} = \frac{1}{2}V_{CC}\,I_C = \frac{1}{2}\;12\,x\,54x\,10^{-3} = 0{,}324W$$

Công suất điện cung cấp cho mạch bởi nguồn V_{CC}:

$$P_D = P_{CC} = I_C V_{CC} = 54\,.\,10^{-3}\;12 = 0{,}648W$$

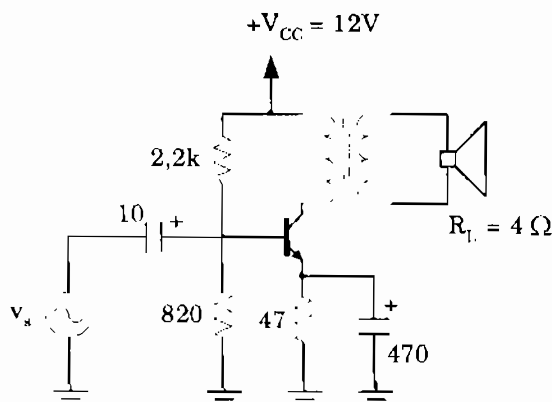
Tổng trở tải quy về sơ cấp:

$$R'_L = \frac{V_{CC}}{I_C} = \frac{12}{54\,.\,10^{-3}} \approx 220\Omega$$

Với tổng trở tải là loa có $R_L = 4\Omega$, có thể tính tỉ lệ của biến áp ra loa là:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{R'_L}{R_L} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \frac{220}{4} = 55$$

Suy ra: $\dfrac{N_1}{N_2} \approx 7{,}5$



Hình 4.6: Mạch công suất tiêu biểu

4. Bài toán tổng hợp mạch

Tính chọn linh kiện cho mạch khuếch đại công suất có công suất ra là 5W, tổng trở loa là 4Ω, nguồn V_{CC} = 12V.

Chọn sơ đồ như hình 4.6 nhưng phải tính lại trị số linh kiện.

Giả thiết có biến áp lý tưởng và tổn hao công suất trên cuộn sơ cấp không đáng kể nên mạch có hiệu suất:

$$\eta = 50\%$$

Công suất điện cung cấp cho mạch bởi nguồn V_{CC}:

$$P_O = \frac{P_O^{'}}{\eta} = \frac{5}{0,5} = 10W$$

Tính dòng điện tĩnh I_C:

$$I_C = \frac{P_D}{V_{CC}} = \frac{10}{12} \approx 830\,mA$$

Điện trở tải quy về sơ cấp:

$$R_L^{'} = \frac{V_{CC}}{I_C} = \frac{12}{0,83} \approx 15\Omega$$

Tỉ lệ của biến áp:

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{R_L'}{R_L}} = \sqrt{\frac{15}{4}} \approx 2 \text{ lần}$$

Ta chọn điện áp $V_E = 1V$ thì:

$$R_E \cong \frac{V_E}{I_C} = \frac{1}{0,83} = 1,2\Omega$$

Chọn transistor khuếch đại có $\beta = 80$:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 10,3mA$$

Để mạch được phân cực ổn định, chọn dòng điện qua cầu phân áp R_{B1} và R_{B2} là $I_{RB} = 10I_B$.

Như vậy: $I_{RB} = 10I_B = 10 \times 10,3 = 103mA$.

Tính điện trở R_{B2}:

$$R_{B2} = \frac{V_B}{I_{RB}} = \frac{V_E + 0,7}{I_{RB}} = \frac{1 + 0,7}{0,103} = 16\Omega$$

Tính điện trở R_{B1}:

$$R_{B1} \cong \frac{V_{CC} - V_B}{I_{RB}} = \frac{12 - 1,7}{0,103} = 100\Omega$$

Tụ điện liên lạc thường chọn $C = 5\mu F \div 10\mu F$

Tụ điện phân dòng C_E thường chọn $C_E = 47\mu F \div 100\mu F$.

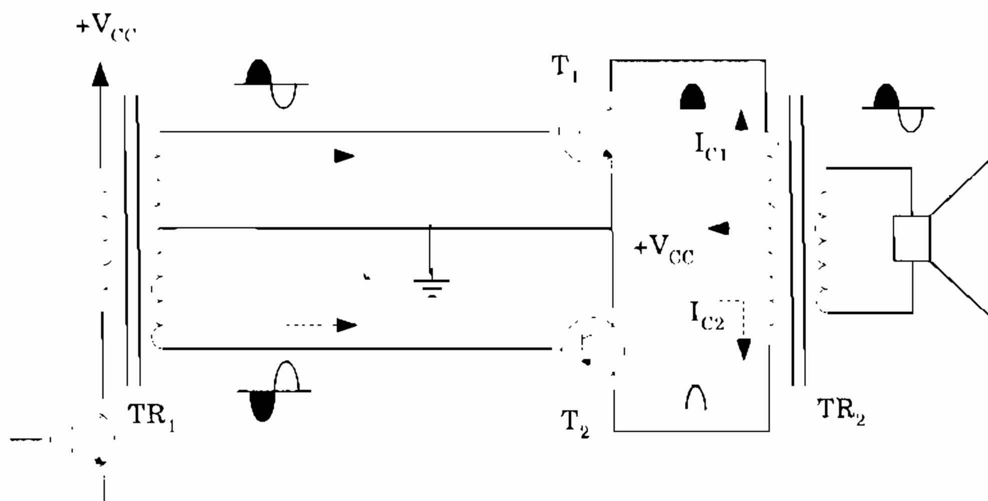
5. Nhận xét

Qua các mạch phân tích trên cho thấy ở mọi thời điểm, mạch khuếch đại liên tục nhận công suất điện từ nguồn V_{CC}. Khi mạch ở trạng thái tĩnh thì toàn bộ công suất $P_D = I_C V_{CC}$ chỉ là công suất tiêu tán để đốt nóng transistor một cách vô ích. Mạch chỉ có hiệu suất cao khi tín hiệu vào có biên độ lớn, lúc đó công suất của nguồn V_{CC} được cung cấp ra trên tải. Hiệu suất tối đa của mạch này chỉ đạt đến mức 50%.

Để tăng hiệu suất lên cao hơn người ta giảm dòng tĩnh I_C bằng cách đặt điểm làm việc gần về mức ngưng dẫn theo kiểu khuếch đại hạng B hay AB.

§4.3- MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT HẠNG B

Như đã phân tích trong phần các hạng khuếch đại (chương 1), mạch khuếch đại hạng B có mức phân cực $V_{BE} = 0V$ nên trong mạch điện hình 4.7, hai transistor T_1 và T_2 không được phân cực.



Hình 4.7: Khuếch đại công suất hạng B

Mạch khuếch đại hạng B chỉ khuếch đại được một bán kỳ nên tầng công suất hạng B phải dùng hai transistor T_1 và T_2 để luân phiên khuếch đại sẽ tạo lại đủ hai bán kỳ trên tải. Để thực hiện điều này cần dùng hai biến áp gồm TR_1 là biến áp đảo pha (còn gọi là biến áp thúc hay lái do chữ Driver), TR_2 là biến áp ngõ ra.

Biến áp TR_1 có cuộn thứ cấp ba đầu ra với đầu giữa nối mass nên tín hiệu xoay chiều trên hai đầu ra là hai tín hiệu đảo pha nhau (hình 4.7).

Khi T_1 nhận được bán kỳ dương làm transistor được phân cực nên T_1 dẫn điện và có dòng I_{C1} (đường liền nét) qua nửa cuộn trên

của cuộn sơ cấp biến áp TR_2. Lúc đó, T_2 nhận được bán kỳ âm nên T_2 không được phân cực sẽ ngưng dẫn.

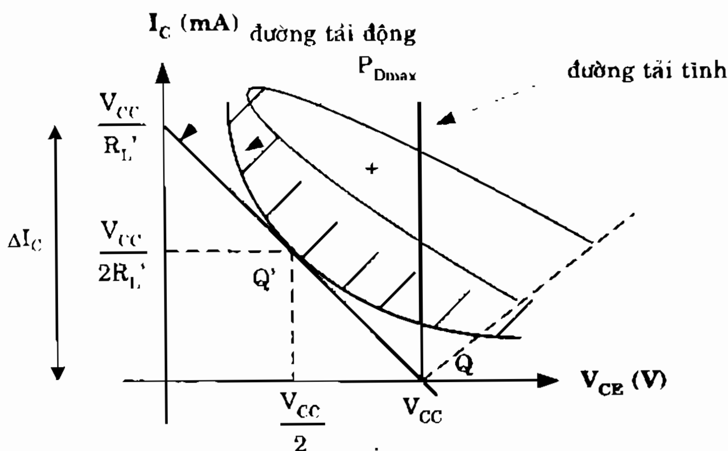
Khi T_1 nhận được bán kỳ âm làm T_1 không được phân cực, T_1 ngưng dẫn. Lúc đó, T_1 nhận được bán kỳ dương làm transistor được phân cực, T_2 dẫn điện và có dòng I_{C2} (đường rời nét) qua nửa cuộn dưới của cuộn sơ cấp biến áp TR_2.

Như vậy, hai transistor T_1 và T_2 sẽ luân phiên dẫn điện để tạo hai dòng điện I_{C1} và I_{C2} chạy luân phiên ngược chiều nhau trong cuộn sơ cấp. Khi hai dòng điện này cảm ứng sang thứ cấp sẽ cho đủ hai bán kỳ vào tải.

Hình 4.8 là đặc tuyến ngõ ra của mạch công suất hạng B. điểm làm việc tĩnh Q là điểm cắt trục hoành ở điểm V_{CC}, đường tải tĩnh gần như thẳng đứng từ điểm Q song song với trục tung vì điện trở cuộn sơ cấp nhỏ.

Để có công suất ra lớn nhất thì đường tải động là đường thẳng từ Q vẽ tiếp xúc với đường công suất tiêu tán cực đại P_{Dmax} tại điểm Q' với tọa độ:

$$I_C = \frac{V_{CC}}{2R_L'} \qquad V_{CE} = \frac{V_{CC}}{2}$$



Hình 4.8: Đặc tuyến ngõ ra của mạch công suất hạng B

Đường tải động cắt trục tung tại điểm $I_{Cmax} = \frac{V_{CC}}{R_L'}$.

Tải R_L' là tải R_L được quy về sơ cấp nhưng chỉ xét nửa cuộn trên hoặc dưới. Nếu gọi số vòng dây của nửa cuộn sơ cấp là N_1 và số vòng dây thứ cấp là N_2 thì:

$$\frac{R_L'}{R_L} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad \Rightarrow \quad R_L' = R_L\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

Điểm Q' tiếp xúc với đường công suất cực đại P_{Dmax} nên ở điểm này công suất tiêu tán cũng chính là P_{Dmax}. Ta có:

$$P_{Dmax} = I_C \cdot V_{CE} = \frac{V_{CC}}{2R_L'} \cdot \frac{V_{CC}}{2} = \frac{V_{CC}^2}{4R_L'}$$

Như vậy, nếu có một transistor với P_{Dmax} cụ thể thì khi chọn nguồn V_{CC} ta sẽ tính được tải R_L' để chọn tiếp biến áp và tải R_L ở thứ cấp.

Theo đặc tuyến ra hình 4.8 ta có:

$$\Delta I_C = i_{cmax} = \frac{V_{CC}}{R_L'} \qquad \text{(vì chỉ có một bán kỳ)}$$

$$\Delta V_{CE} = v_{cemax} = V_{CC} \qquad \text{(vì chỉ có một bán kỳ)}$$

Như vậy, công suất ra cực đại do hai transistor cung cấp:

$$P_{O1}' = \frac{i_{cmax}}{\sqrt{2}} \frac{v_{cemax}}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{V_{CC}}{\sqrt{2}\,R_L'} \frac{V_{CC}}{\sqrt{2}} = \frac{V_{CC}^2}{2\,R_L'}$$

Ở trạng thái tĩnh, hai transistor không tiêu hao điện. Khi khuếch đại thì dòng điện đốt nóng transistor chính là dòng điện I_C ở trị số trung bình:

$$\bar{I}_C = \frac{i_{cmax}}{\pi} = \frac{V_{CC}}{\pi R_L'}$$

Công suất điện cung cấp cho mạch bởi nguồn V_{CC} là:

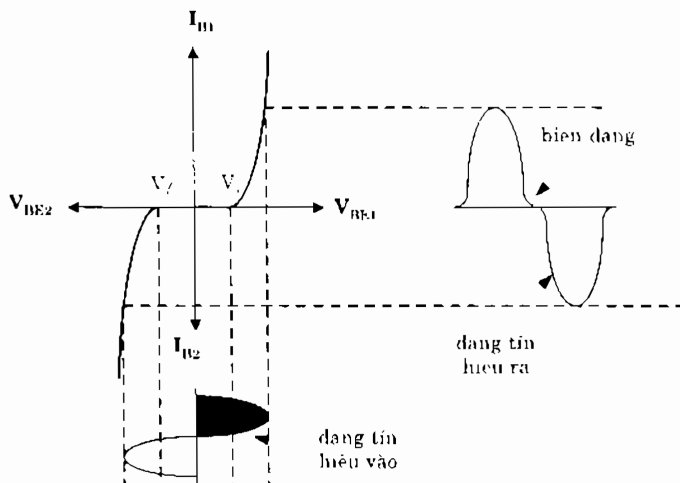
$$P_{CC} = 2V_{CC}\bar{I}_C = 2V_{CC}\frac{V_{CC}}{\pi R'_L} \quad\Rightarrow\quad P_{CC} = \frac{2}{\pi}\frac{V^2_{CC}}{R'_L}$$

Suy ra hiệu suất cực đại của mạch:

$$\eta = \frac{P'_O}{P_{CC}}100\% = \frac{\dfrac{V^2_{CC}}{2R'_L}}{\dfrac{2}{\pi}\dfrac{V^2_{CC}}{R'_L}}100\% = \frac{\pi}{4}100\% \quad\Rightarrow\quad \eta = 78{,}5\%$$

Như vậy, mạch khuếch đại hạng B có hiệu suất cao hơn (η = 78,5%) so với mạch khuếch đại hạng A (η = 50%). Tuy nhiên, ở hạng B có nhược điểm rất lớn là tín hiệu ra bị biến dạng xuyên trục vì khi phân cực V_{BE} = 0V thì tín hiệu trong khoảng điện áp từ 0V đến V_γ, hai transistor chưa dẫn điện. Khi điện áp qua trị số V_γ hai transistor mới dẫn điện và khuếch đại. Hình 4.9 cho thấy dạng tín hiệu ra bị biến dạng xuyên trục (Crossover - Distortion).

Dạng dòng điện I_{B1} – I_{B2} cũng chính là dạng dòng điện I_{C1} - I_{C2} và là dạng tín hiệu ra bị biến dạng xuyên trục. Đây chính là lý do mà mạch công suất hạng B không được sử dụng.



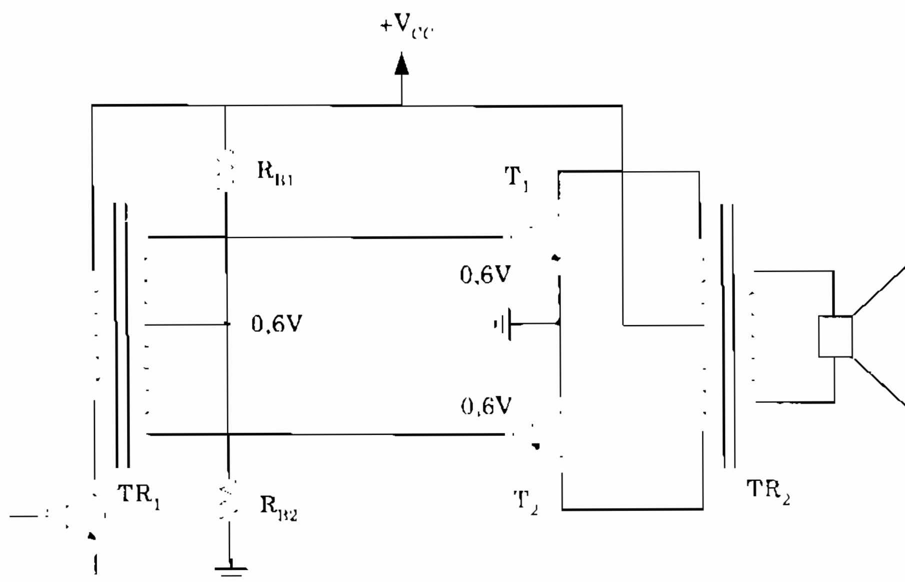
Hình 4.9

§4.4- MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT HẠNG AB

Để tránh nhược điểm gây ra biến dạng xuyên trục ở tín hiệu ra trong mạch khuếch đại hạng B, người sử dụng mạch khuếch đại hạng AB như sơ đồ hình 4.10.

Trong mạch điện hình 4.10 hai transistor công suất $T_1 - T_2$ được phân cực bằng cầu phân áp $R_{B1} - R_{B2}$ để có điện áp phân cực cho hai cực B với mức $V_{B1} = V_{B2} = V_\gamma$ (0,6V cho chất Si và 0,2V cho chất Ge).

Ở trạng thái tĩnh hai transistor được phân cực vừa dẫn điện nên các dòng điện I_B, I_C coi như bằng không. Khi vừa có tín hiệu thì hai transistor sẽ luân phiên dẫn điện và cũng cho ra đủ hai bán kỳ trên tải. Với cách phân cực này sẽ tránh được hiện tượng biến dạng xuyên trục. Các thông số kỹ thuật của mạch như P_O, P_{CC}, η vẫn có cách tính giống như mạch công suất hạng B.



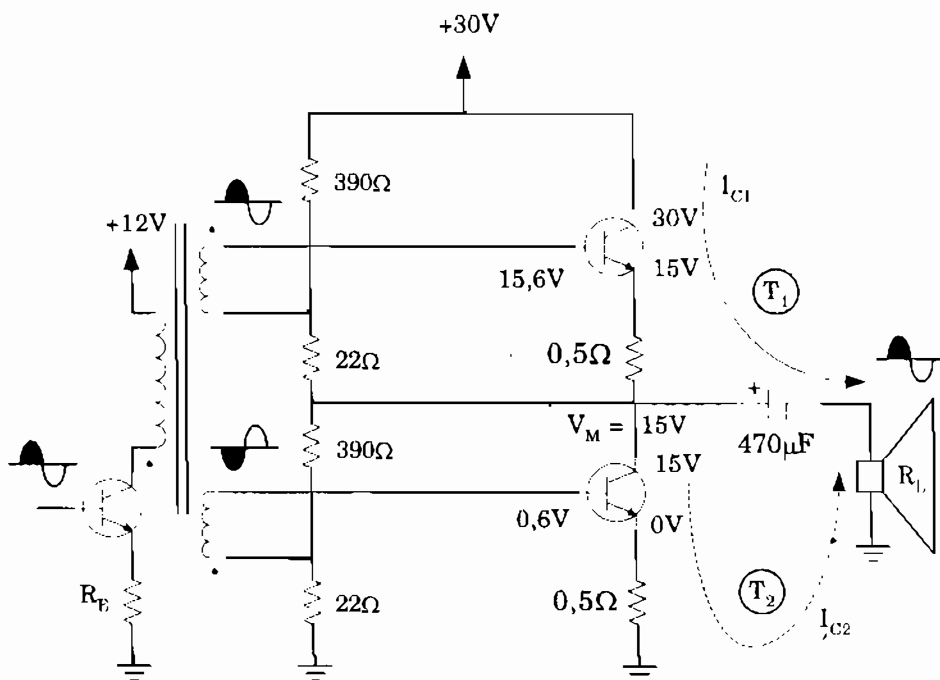
Hình 4.10: Khuếch đại công suất hạng AB

§4.5- MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT KIỂU OTL

Hiện nay các mạch khuếch đại công suất hạng AB dùng hai bộ biến áp đảo pha và biến áp ra không được thông dụng vì hai biến áp này có kích thước lớn, nặng nề, đắt tiền, hiệu suất thấp và dải tần số làm việc không rộng. Người ta dùng nhiều cách để lần lượt bỏ các biến áp này và mạch công suất bây giờ gọi là mạch OTL (do viết tắt của Output TransformerLess: không có biến áp ngõ ra).

1. Mạch OTL có biến áp đảo pha

Sơ đồ mạch điện hình 4.11 là mạch công suất chỉ còn dùng biến áp đảo pha. Bây giờ cuộn thứ cấp chia ra hai phần độc lập nhau nên còn được gọi là biến áp có sáu dây ra.



Hình 4.11: Mạch OTL có biến áp đảo pha 6 dây ra

Hai cuộn thứ cấp của biến áp đảo pha được quấn cùng số vòng nhưng cuộn trên được lấy điểm đầu nối vào cực B_1, cuộn dưới được lấy điểm cuối nối vào cực B_2. Như vậy, tín hiệu đưa vào hai cực B_1 và B_2 cũng là hai tín hiệu đảo pha nhau.

Bốn điện trở trong mạch tạo thành cầu phân áp cho ra điện áp điểm giữa là $V_M = ½V_{CC}$. Mỗi cầu phân áp dùng để phân cực cho hai cực B_1 và B_2 để hai transistor có $V_{BE} = V_γ = 0,6V$.

Do hai transistor chỉ được phân cực ở mức vừa dẫn điện nên mạch vẫn có các dòng điện I_{B1}, I_{B2}, I_{C1}, I_{C2} bằng 0. Điện áp trên các cực có trị số như trên sơ đồ.

Khi cực B_1 nhận được bán kỳ dương là T_1 được phân cực sẽ dẫn điện, lúc đó cực B_2 nhận được bán kỳ âm làm T_2 không được phân cực nên ngưng dẫn. Dòng điện I_{C1} sẽ đi từ nguồn qua T_1 nạp vào tụ 470μF và đi ngang tải theo chiều từ trên xuống cho ra bán kỳ dương (dòng điện có đường liền nét).

Như vậy, trên tải vẫn nhận đủ cả hai bán kỳ.

Trong mạch này mỗi transistor công suất chỉ nhận ½ nguồn V_{CC} nên có các thông số của tín hiệu ra:

$$\Delta V_{CE} = \frac{1}{2} V_{CC} = v_{ce\,max}$$

$$\Delta I_C \cong \frac{1}{2} \cdot \frac{V_{CC}}{R_L} = i_{c\,max} \qquad (R_E << R_L \text{ nên bỏ qua } R_E)$$

Công suất ra trên tải do hai transistor cấp:

$$P_O = \frac{i_{c\,max}}{\sqrt{2}} \frac{v_{ce\,max}}{\sqrt{2}}$$

$$P_O = \frac{V_{CC}}{2\sqrt{2}\,R_L} \frac{V_{CC}}{2\sqrt{2}} = \frac{V_{CC}^2}{8\,R_L}$$

Ở trạng thái tĩnh hai transistor không dẫn nên không tiêu hao công suất điện. Khi khuếch đại, dòng điện đốt nóng hai

transistor chính là dòng điện trung bình $\bar{I}_C$ được tính theo công thức:

$$\bar{I}_C = \frac{i_{c\,max}}{\pi} = \frac{V_{CC}}{2\pi R_L}$$

Công suất điện cung cấp cho mạch bởi nguồn V_{CC}:

$$P_{CC} = V_{CC}\,\bar{I}_C = V_{CC}\,\frac{V_{CC}}{2\pi R_L} = \frac{V_{CC}^2}{2\pi R_L}$$

Hiệu suất của mạch:

$$\eta = \frac{P_O}{P_{CC}} \times 100\% = \frac{\dfrac{V_{CC}^2}{8\,R_L}}{\dfrac{V_{CC}^2}{2\,\pi\,R_L}} = \frac{\pi}{4} \times 100\% = 78{,}5\%$$

Ta vẫn có hiệu suất là η = 78,5% và đây là hiệu suất thực chứ không bị giảm nhỏ do tổn hao trên biến áp ra như các mạch trước.

2. Mạch công suất OTL ráp bổ phụ

Nếu bỏ biến áp đảo pha thì mạch sẽ có hiệu suất cao hơn, giảm giá thành, gọn nhẹ và dải tần số làm việc rộng hơn vì tránh các nhược điểm của biến áp đảo pha. Vì thế người ta dùng mạch OTL bổ phụ với hai transistor công suất khác loại, T_1 là transistor NPN, T_2 là transistor PNP và T_3 là transistor thúc thay cho biến áp đảo pha (vì mạch bây giờ không cần đảo pha nữa).

a) Điều kiện của mạch bổ phụ:

- T_1 và T_2 là hai transistor có cùng công suất P_{Dmax}.
- T_1 và T_2 là hai transistor có cùng độ khuếch đại β.
- T_1 và T_2 là hai transistor được chế tạo cùng chất Si hay Ge (thường là Si).
- T_1 là loại NPN và T_2 là loại PNP.

Do T_1 và T_2 có cùng các thông số kỹ thuật nên trong mạch điện phải có cùng điều kiện làm việc, mỗi transistor phải chịu $\frac{1}{2}V_{CC}$. Như vậy điện áp điểm giữa:

$$V_M = \frac{1}{2}V_{CC} = 15V$$

Hai transistor được phân cực hạng AB ở mức vừa dẫn điện nên có dòng điện tĩnh rất nhỏ đi qua T_1, T_2 .

Điện áp trên các cực của T_1, T_2 :

$V_{C1} = V_{CC} = 30V$

$V_{E1} = V_M = 15V$

$V_{B1} = V_{E1} + V_{BE}$

$= 15V + 0,6V = 15,6V$

(T_1 loại NPN phân cực dương)

$V_{C2} = 0V$

$V_{E2} = V_M = 15V$

$V_{B2} = V_M - V_{BE}$

$= 15V - 0,6V = 14,4V$

(T_2 loại PNP phân cực âm)

b) Xét transistor thúc T_3:

Trong mạch này T_3 là transistor tạo phân cực cho $T_1 - T_2$

Ta có: $V_{B2} = V_{C3} = 14,4V$

$$V_{B1} = V_{B2} + 2V_D = 14,4V + (2.\ 0,6V) = 15,6V$$

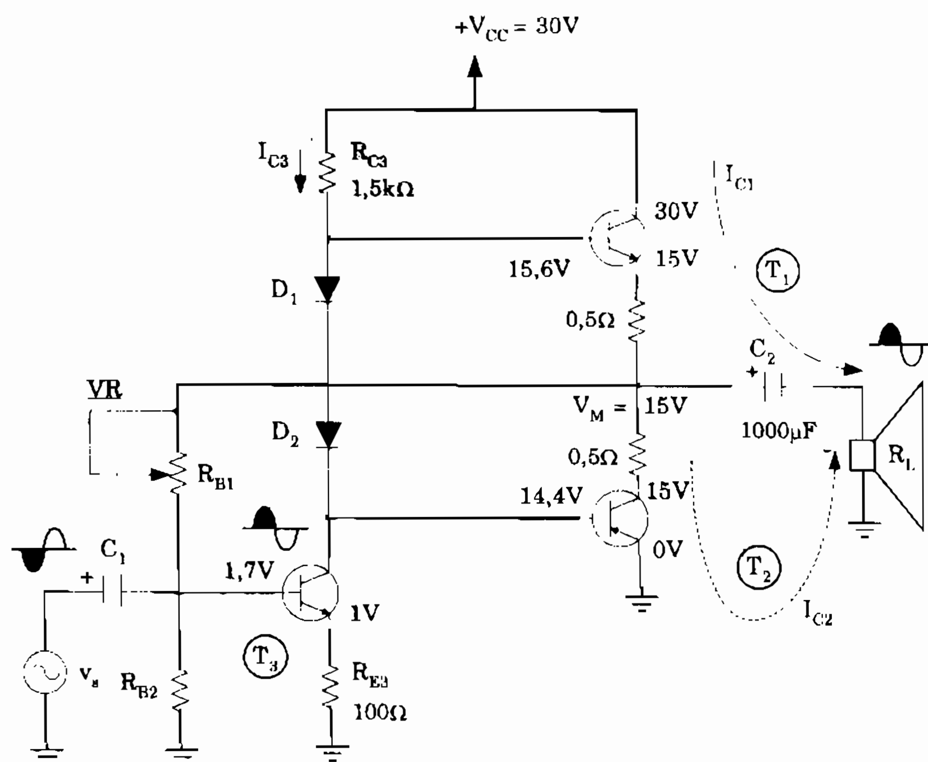
Hai diod $D_1 - D_2$ dùng để tạo mức chênh lệnh điện áp $2V_D = 1,2V$ để phân cực chênh lệch cho cực B_1 và B_2.

Đồng thời: $V_{B1} = V_{CC} - I_{C3}R_{C3} = 15,6V$

Như vậy, để có điện áp phân cực đúng cho cực $B_1 - B_2$ và cho ra điện áp điểm giữa $V_M = \frac{1}{2}V_{CC}$ thì phải có dòng điện I_{C3} đúng. Theo sơ đồ ta có:

$$V_{B1} = V_{CC} - I_{C3}R_{C3} = 15,6V$$

$$\Rightarrow \quad I_{C3} = \frac{V_{CC} - V_{B1}}{R_{C3}} = \frac{30V - 15,6V}{1,5k\Omega} \cong 10mA$$



Hình 4.12: Mạch công suất OTL bổ phụ

Từ đó suy ra:

- $V_{E3} = I_{C3}R_{E3} = 10mA \times 100\Omega = 1V$

⇒ $V_{B3} = V_{E3} + V_{BE} = 1V + 0,7V = 1,7V$

T_3 là transistor phân cực hạng A nên có $V_{BE} = 0.7V$

Để có $I_{C3} = 10mA$ thì điện áp V_{B3} phải bằng 1,7V. Các trị số này phải thật chính xác. Để có được điện áp phân cực chính xác người ta phải dùng biến trở VR điều chỉnh phân cực cho cực B_3.

Tóm lại: Nếu V_{B3} đúng thì $T_1 - T_2$ cũng được phân cực đúng hạng AB và cho điện áp điểm giữa $V_M = ½ V_{CC}$. Biến trở VR còn được gọi là biến trở chỉnh điểm giữa V_M.

c) Xét trạng thái xoay chiều:

T_3 là mạch khuếch đại hạng A ráp kiểu E chung nên là mạch khuếch đại đảo pha. Tín hiệu xoay chiều của nguồn v_s được đưa vào cực B_3 và khuếch đại ra ở cực C_3 là hai tín hiệu đảo pha đủ cả hai bán kỳ (hình 4.12). Tín hiệu này đồng thời được đưa vào cực B_1 và B_2 của tầng công suất OTL bổ phụ.

Hai diod D_1 – D_2 dùng để tạo điện áp $2V_D$ phân cực chênh lệch một chiều cho cực B_1, B_2 nhưng do diod có tính ghim áp nên đối với tín hiệu xoay chiều thì $\Delta V_D = 0V$, mức điện áp của tín hiệu xoay chiều đưa vào cực B_1 và B_2 gần như bằng nhau.

- Khi T_3 cho ra bán kỳ dương thì điện áp V_{B1} tăng nên T_1 được phân cực và T_1 dẫn điện. Lúc đó, điện áp V_{B2} cũng tăng nên T_2 không được phân cực và T_2 ngưng dẫn (vì T_2 là transistor loại PNP). Dòng điện I_{C1} sẽ đi từ nguồn $+V_{CC}$ qua T_1 nạp qua tụ 1000µF và đi qua tải theo chiều từ trên xuống mass cho ra bán kỳ dương trên tải (dòng điện có đường liền nét).

- Khi T_3 cho ra bán kỳ âm thì điện áp V_{B1} giảm nên T_1 không được phân cực và T_1 ngưng dẫn. Lúc đó, điện áp V_{B2} cũng giảm nên T_2 được phân cực và T_2 dẫn điện (vì T_2 là transistor loại PNP). Dòng điện I_{C2} sẽ do tụ 1000µF xả điện qua T_2 xuống mass và đi qua tải theo chiều từ mass lên cho ra bán kỳ âm trên tải (dòng điện có đường rời nét).

Như vậy, hai transistor T_1 và T_2 cũng luân phiên dẫn điện và cho ra tải đủ cả hai bán kỳ.

Khi đó hoạt động mỗi transistor chỉ chịu ½ nguồn V_{CC}, ta có:

$$i_{c\max} \cong \frac{V_{CC}}{2\,R_L} \qquad (R_E << R_L)$$

Công suất ra cực đại trên tải:

$$P_{o\max} = R_L\, i_c^2 \qquad \left(i_c = \frac{i_{c\max}}{\sqrt{2}} \right)$$

$$\Rightarrow \quad P_{o\,max} = R_L \left(\frac{V_{CC}}{2\sqrt{2}\,R_L} \right)^2 = \frac{V_{CC}^2}{8R_L}$$

Công suất điện cung cấp cho mạch bởi nguồn V_{CC} :

$$P_{CC} = V_{CC}\,\overline{I} = V_{CC}\,\frac{i_{c\,max}}{\pi} = V_{CC}\,\frac{V_{CC}}{2\pi R_L}$$

$$P_{CC} = \frac{V_{CC}^2}{2\pi R_L}$$

Hiệu suất của mạch :

$$\eta = \frac{P_{o\,max}}{P_{CC}}\,100\% = \frac{\dfrac{V_{CC}^2}{8\,.\,R_L}}{\dfrac{V_{CC}^2}{2\pi\,R_L}}\,100\%$$

$$\Rightarrow \quad \eta = \frac{\pi}{4}\,100\% = 78{,}5\%$$

Ở trạng thái tĩnh hai transistor T_1 và T_2 dẫn điện rất yếu nên được xem như không tiêu hao công suất. Khi khuếch đại tín hiệu thì hai transistor bị đốt nóng với công suất tiêu tán:

$$P_T = P_{CC} - P_{Omax}$$

$$= \frac{V_{CC}^2}{2\pi\,R_L} - \frac{V_{CC}^2}{8\,R_L}$$

Thực ra công thức trên chỉ đúng với trường hợp ngõ ra có P_{Omax}. Trị số P_T có thay đổi theo P_O, để xác định trị số P_{Tmax} người ta phải tìm điểm cực đại của công thức trên bằng cách lấy đạo hàm và cho đạo hàm bằng 0 để tìm giá trị cực đại.

Ta sẽ có:

$$P_{T\,max} \cong 0.05\,\frac{V_{CC}^2}{R_L} \qquad \textit{(chung cho hai transitor)}$$

Lập tỉ số với P_{Omax} ta có:

$$\frac{P_{T\max}}{P_{O\max}} = \frac{0{,}05\,\dfrac{V_{CC}^2}{R_L}}{\dfrac{V_{CC}^2}{8\,R_L}} = 0{,}4$$

Như vậy: $P_{T\max} = 0{,}4 P_{O\max} = 0.4\,\dfrac{V_{CC}^2}{8\,R_L}$

Mỗi transistor sẽ chịu ½ công suất $P_{T\max}$ trên.

§4.6- MẠCH KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT KIỂU OCL

Trong mạch OTL, điện áp điểm giữa $V_M = ½V_{CC}$ và ở trạng thái tĩnh tụ ngõ ra phải chịu điện áp này. Khi khuếch đại tụ ngõ ra sẽ nạp điện làm điện áp trên tụ tăng lên khi T_1 dẫn và xả điện làm điện áp giảm xuống khi T_2 dẫn.

Tụ C có dung kháng $X_C = \dfrac{1}{2\pi fC}$ tỉ lệ nghịch với f nên khi tín hiệu có tần số f khá thấp thì X_C đủ lớn và biên độ tín hiệu ra tải bị giảm nhỏ. Điều này làm cho đáp tuyến tần số ở ngõ ra bị giảm trong khoảng tần số thấp và thật thấp.

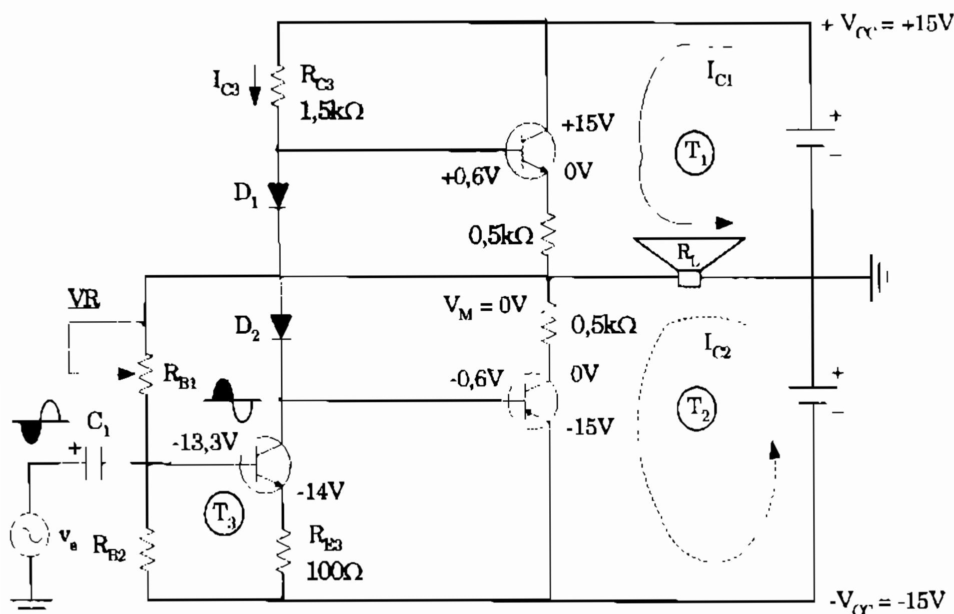
Người ta có thể bỏ tụ điện ngõ ra và gọi là mạch khuếch đại công suất OCL (do viết tắt của Output Capacitor Less: không có tụ điện ngõ ra).

Hình 4.13, mạch công suất OCL với hai nguồn đối xứng $\pm V_{CC}$.

Trong mạch T_1 và T_2 vẫn là hai transistor khác loại ráp kiểu bổ phụ, T_3 là transistor thúc. Các linh kiện khác vẫn có trị số giống mạch điện hình 4.12 nhưng dùng với hai nguồn đối xứng $\pm V_{CC} = \pm 15V$ nên điện áp các cực bây giờ có trị số với mass:

T_1 loại NPN dùng nguồn $+V_{CC}$. T_2 loại PNP dùng nguồn $-V_{CC}$

$V_{C1} = +V_{CC} = +15V$	$V_{C2} = -V_{CC} = -15V$
$V_{E1} = 0V$	$V_{E2} = 0V$
$V_{B1} = +0{,}6V$ (hạng AB)	$V_{B2} = -0{,}6V$ (hạng AB)



Hình 4.13: Mạch công suất OCL bổ phụ

Hai diod D_1 – D_2 cũng dùng để tạo chênh lệch điện áp phân cực cho cực B_1 và B_2. Dòng điện I_{C3} phải có trị số đúng khoảng 10mA để giảm áp qua R_{C3} cho ra điện áp đúng phân cực B_1, B_2 và cho ra điện áp điểm giữa V_M = 0V.

Điểm giữa có điện áp V_M = 0V nhưng không phải mass, do đó T_3 phải được phân cực đúng bằng biến trở VR (R_{B1}) và trong mạch này T_3 có điện áp các cực như sau:

$V_{C3} = V_{B2} = -0,6V$

$V_{E3} = I_{C3} \cdot R_{E3} + (-V_{CC}) = 10mA \times 100\Omega - 15V = -14V$

$V_{B3} = V_{E3} + V_{BE} = -14V + 0,7V = -13,3V$ (hạng A)

Nếu biến trở VR bị điều chỉnh sai sẽ làm T_3 bị sai phân cực dẫn tới $I_C \neq$ 10mA. Điều này dẫn đến V_{B1} và V_{B2} sai làm cho điện áp điểm giữa $V_M \neq$ 0V (có thể âm hoặc dương). Lúc đó, có dòng điện một chiều qua tải (có thể là loa) sẽ làm hư tải. Trong thực tế

người ta có nhiều cách bảo vệ cho mạch khi điện áp điểm giữa $V_M \neq 0V$.

Do dùng nguồn đối xứng nên T_1 dùng nguồn dương $+V_{CC}$ và T_2 dùng nguồn âm $-V_{CC}$. Dòng điện i_{Cmax} bây giờ:

$$i_{c\max} = \left| \frac{V_{CC}}{R_L} \right|$$

Công suất ra cực đại trên tải:

$$P_{O\max} = R_L\, i_c^2 = R_L \left(\frac{V_{CC}}{\sqrt{2}\, R_L} \right)^2 = \frac{V_{CC}^2}{2 R_L}$$

Công suất điện cung cấp cho mạch bởi nguồn $\pm V_{CC}$:

$$P_{CC} = 2V_{CC}\,\bar{I} = 2V_{CC}\,\frac{i_{c\max}}{\pi} = 2V_{CC}\,\frac{V_{CC}}{\pi R_L}$$

$$\Rightarrow \quad P_{CC} = 2\,\frac{V_{CC}^2}{\pi R_L}$$ (V_{CC} chỉ là điện áp của một nguồn)

Hiệu suất của mạch :

$$\eta = \frac{P_O}{P_{CC}}\,100\% = \frac{\dfrac{V_{CC}{}^2}{2R_L}}{\dfrac{2V_{CC}{}^2}{\pi R_L}}\,100\% = 78{,}5\%$$

Chương 5

MẠCH KHUẾCH ĐẠI DC

§5.1- ĐẠI CƯƠNG

Mạch khuếch đại DC còn được gọi là mạch khuếch đại ghép trực tiếp. Thông thường các mạch khuếch đại tín hiệu AC được ghép liên lạc bằng tụ điện, khi đó tụ điện liên lạc sẽ có dung kháng thay đổi theo tần số của tín hiệu. Nếu tín hiệu có tần số cao thì dung kháng nhỏ có thể xem như không đáng kể. Nếu tín hiệu có tần số thấp hay các tín hiệu có mức biến đổi chậm thì dung kháng của tụ sẽ rất lớn, từ đó làm tổn hao điện áp trên tụ lớn.

Mạch khuếch đại DC được dùng để tránh ảnh hưởng của tụ liên lạc trong các trường hợp khuếch đại các tín hiệu biến đổi chậm hay các tín hiệu không có tính chu kỳ.

§5.2- CÁC KIỂU KHUẾCH ĐẠI DC

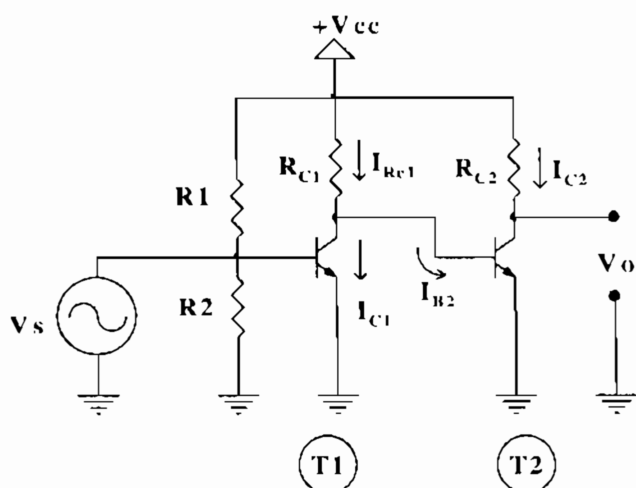
1) Mạch cơ bản

Trong mạch khuếch đại AC dùng tụ điện liên lạc, mỗi transistor được thiết kế phân cực một chiều độc lập. Trong mạch khuếch đại DC cơ bản (hình 5.1), mức điện áp một chiều trên T_1 chính là điện áp phân cực cho T_2.

Ta có: $V_{C1} = V_{B2} \approx 0{,}7V$, $V_{B1} \approx 0{,}7V$, và $I_{RC1} = I_{C1} + I_{B1}$

Giả sử cầu phân áp R_1 - R_2 bị thay đổi theo hướng làm V_{B1} tăng sẽ làm I_{B1}, I_{C1} tăng. Lúc đó I_{C1} giảm làm V_{B2} giảm và T_2 chạy yếu hay ngưng dẫn. Ngược lại, nếu V_{B2} tăng sẽ làm cho T_2 chạy mạnh hay bão hòa.

Như vậy, trong mạch khuếch đại DC việc tính toán trạng thái tĩnh rất quan trọng vì điện áp một chiều của transistor sẽ ảnh hưởng lẫn nhau rất lớn.

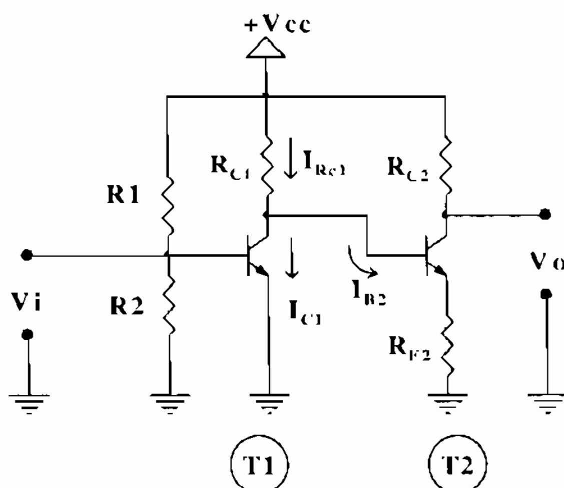


Hình 5.1: Mạch cơ bản

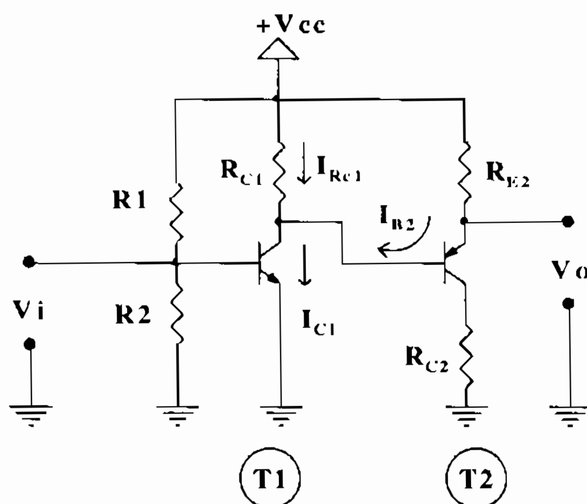
Mạch cơ bản hình 5.1 có nhược điểm là V_{CE1} có mức điện áp thấp do $V_{B1} = 0,7V$.

Để nâng cao mức V_{CE1} người ta thường dùng thêm R_{E2}.

2) Mạch khuếch đại DC có R_{E2}



Hình 5.2a: Hai transistor cùng loại



Hình 5.2b: Hai transistor khác loại

Trong mạch điện hình 5.2a người ta dùng thêm R_{E2} để có V_{E2} cao và $V_{B2} = V_{C1}$ cũng được nâng cao vì:

$$V_{B2} = V_{C1} = V_{E2} + V_{BE}$$

Nhờ đó việc tính chọn điểm làm việc tĩnh của T_1 được dễ dàng hơn. Tuy nhiên, khi có R_{E2} thì độ khuếch đại điện áp của tầng hai bị giảm do tác dụng hồi tiếp âm dòng điện của R_{E2}.

Mạch điện hình 5.2b là trường hợp dùng hai transistor khác loại nhưng cả hai transistor trong hai mạch đều được ráp kiểu E chung, điện áp tín hiệu vào v_i và tín hiệu ra v_o là hai tín hiệu đồng pha cho cả hai mạch.

Hình 5.2a có: $I_{RC1} = I_{C1} + I_{B2}$

Hình 5.2.b có: $I_{RC2} = I_{C2} + I_{B2}$

Khi có sự thay đổi điện áp phân cực ở ngõ vào thì tác dụng phân cực lên T_2 cả hai mạch có sự khác nhau như sau:

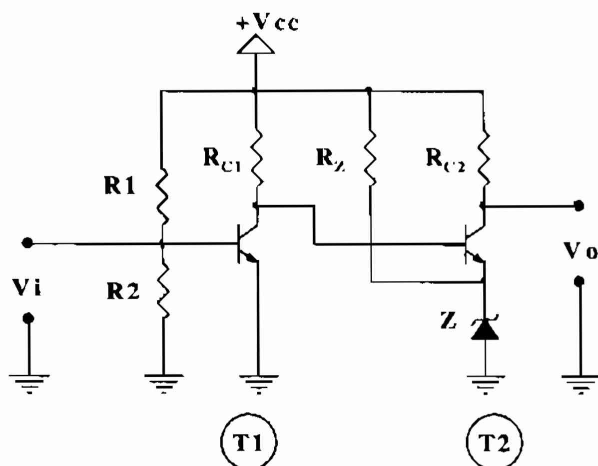
- Hình 5.2a: khi V_{B1} tăng làm I_{C1} tăng nên V_{C1} giảm sẽ làm V_{B2} giảm và T_2 chạy yếu.

- Hình 5.2b: khi V_{B1} tăng làm I_{C1} tăng nên V_{C1} giảm sẽ làm V_{B2} giảm và T_2 chạy mạnh vì là loại PNP.

3) Mạch khuếch đại DC ghim áp ở cực E_2

Khi dùng điện trở R_{E2} để nâng điện áp V_{E2}, V_{B2} và V_{C1} thì R_{E2} sẽ làm giảm độ khuếch đại điện áp của T_2 như trong hình 5.2a và 5.2b.

Muốn tránh tác dụng hồi tiếp âm do R_{E2} tạo ra người ta có thể thay mạch phân cực ổn áp cho cực E_2 bằng cầu phân áp R_Z và Zener. Lúc đó Zenrer được chọn có điện áp thích hợp để tạo phân cực cho cực C_1 và B_2.



Hình 5.3: Ghim áp bằng diod Zener

§5.3- MẠCH KHUẾCH ĐẠI DC THÔNG DỤNG

Mạch điện hình 5.4 là mạch khuếch đại DC thông dụng nhất có thể dùng khuếch đại AC để loại bỏ tác dụng hồi tiếp âm trên R_{E2} và làm tăng độ khuếch đại điện áp của mạch.

Do hai transistor ghép trực tiếp trên điện áp một chiều của hai transitor sẽ là điện áp phân cực lẫn nhau vì:

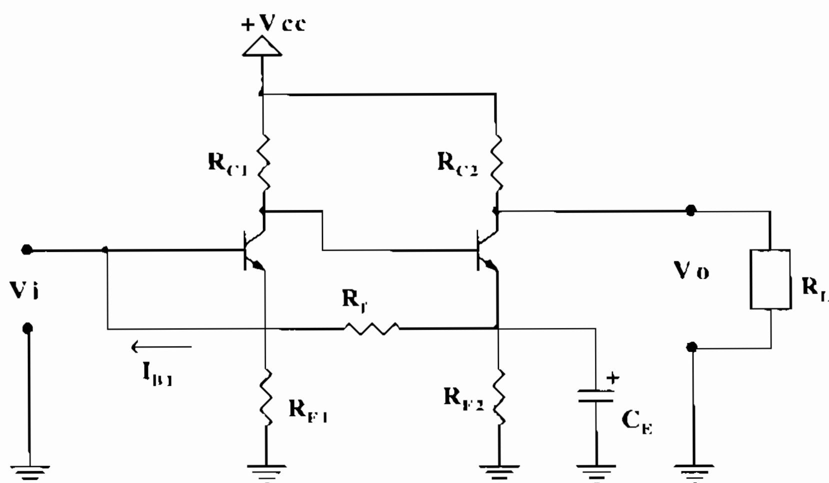
$$V_{C2} = V_{B2} \qquad V_{B1} = V_{E2} - I_{B1}R_1$$

Điện trở R_f lấy điện áp V_{E2} giảm áp để hồi tiếp phân cực cho cực B_1. Điện trở R_f là mạch hồi tiếp âm dòng để ổn định nhiệt cho cả hai transistor.

Nguyên lý mạch hồi tiếp âm để ổn định nhiệt được giải thích như sau:

* Giả thiết T_1 bị nóng do nhiệt độ của môi trường làm I_{C1} tăng, V_{C1} giảm làm V_{B2} giảm. Lúc đó T_2 chạy yếu nên I_{E2} giảm, V_{E2} giảm, qua R_f sẽ làm V_{B1} giảm nên I_{C1} giảm trở lại.

* Giả thiết T_1 bị nóng làm I_{C2} tăng, I_{E2} tăng và V_{E2} tăng. Lúc đó V_{B1} cũng tăng nên T_1 chạy mạnh làm I_{C1} tăng và V_{C1} giảm làm V_{B2} giảm I_{C2} giảm trở lại.



Hình 5.4: Mạch khuếch đại DC có hồi tiếp âm dòng điện

Nếu không có tụ C_E, điện trở R_f còn có tác dụng hồi tiếp âm đối với tín hiệu xoay chiều để cải thiện các thông số kỹ thuật của mạch.

Độ khuếch đại điện áp được tính theo công thức:

- T_1 có $A_{V1} = -\beta_1 \dfrac{R_{C1} // r_{be2}}{r_{be1} + \beta_1 R_{E1}}$

- T_2 có $A_{C2} = -\beta_2 \dfrac{R_{C2} // R_L}{r_{be2}}$ (tụ C_E nối tắt R_{E2})

- Độ khuếch đại chung của $T_1 - T_2$ là:

$$A_V = A_{V1} A_{V2} = \beta_1 \beta_2 \frac{R_{C1} // r_{be2}}{r_{be1} + \beta_1 R_{E1}} . \frac{R_{C2} // R_L}{r_{be2}}$$

Mạch thực tế thường có được điều kiện:

$R_{C1} >> r_{be2}$ nên $R_{C1} // r_{be2} \approx r_{be2}$

$r_{be1} << \beta_1 R_{E1}$ nên $r_{be1} + \beta_1 R_{E1} \approx \beta_1 R_{E1}$

Như vậy ta có:

$$A_V = \beta_1 . \beta_2 \frac{r_{be2}}{\beta_1 R_{E1}} \frac{R_{C2} // R_L}{r_{be2}} \Rightarrow A_V = \beta_2 \frac{R_{C2} // R_L}{R_{E1}}$$

§5.4- HIỆN TƯỢNG "TRÔI ĐIỆN ÁP MỨC KHÔNG"

Đối với các mạch khuếch đại DC (ghép trực tiếp) điện áp một chiều giữa các transistor ảnh hưởng nhau rất lớn. Thí nghiệm cho thấy khi không cho tín hiệu vào mạch bằng cách nối tắt cực B_1 xuống mass qua một điện trở, đo điện áp ra ở cực C_2 ta thấy điện áp ra bị thay đổi không có tính chu kỳ, lúc cao lúc thấp, lúc nhanh lúc chậm. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng trôi điện áp mức không. Mức trôi điện áp ở ngõ ra càng lớn nếu mạch có độ khuếch đại điện áp càng lớn.

Điện áp mức ở ngõ ra bị trôi do các nguyên nhân chính như sau:

1) Ảnh hưởng nhiệt độ lên các thông số của transistor

Như ta đã biết (trong giáo trình "Linh kiện điện tử") các thông số kỹ thuật của transistor đều bị thay đổi theo nhiệt độ đối với cả hai loại transistor S_i và G_e, trong đó ba thông số chịu ảnh hưởng lớn nhất là điện áp phân cực V_{BE}, độ khuếch đại β và dòng điện rỉ I_{CBO}

a) Điện áp V_{BE} thay đổi theo nhiệt độ

Theo thực nghiệm và lý thuyết bán dẫn, khi nhiệt độ tăng 1^0C thì điện áp phân cực V_{BE} giảm 2mV. Hệ số nhiệt của điện áp V_{BE} là:

$$\frac{dV_{BE}}{dT^0} \approx -2mV/^0C$$

b) Độ khuếch đại β thay đổi theo nhiệt độ

Theo thực nghiệm, khi nhiệt độ tăng 1^0C thì độ khuếch đại β tăng thêm khoảng 1%. Hệ số nhiệt của β là:

$$\frac{\frac{d\beta}{dT^0}}{\beta} 100\% \approx 1\% / {}^0C$$

c. Dòng điện rỉ I_{CBO} theo nhiệt độ

Trong transistor, nối CB được phân cực ngược nên dòng điện qua CB chỉ là dòng điện rỉ. Tuy nhiên, dòng điện rỉ I_{CBO} tăng cao khi nhiệt độ tăng. Dòng điện rỉ I_{CBO} được tính theo công thức:

$$I_{CBO} = I_{CBO(R)} . e^k (T^0 - 25^0)$$

Trong đó: $I_{CBO(R)}$: dòng điện rỉ ở nhiệt độ tiêu chuẩn là 25^0C.

T^0 : nhiệt độ môi trường đang thí nghiệm.

I_{CBO} : dòng điện rỉ ở nhiệt độ T^0

K : hệ số nhiệt ($k = 0{,}08/^0C$ cho G_e và $0{,}12/^0C$ cho Si)

Khi nhiệt độ tăng sẽ làm giảm V_{BE}, điều này có nghĩa là với mức điện áp phân cực đang có thì dòng điện I_B sẽ tăng. Lúc đó, độ khuếch đại β cũng tăng sẽ làm dòng điện I_C tăng mạnh kết hợp với dòng điện rỉ I_{CBO} tăng càng làm I_C tăng mạnh hơn, dẫn đến điện áp V_C giảm nhỏ làm "điện áp mức không bị trôi".

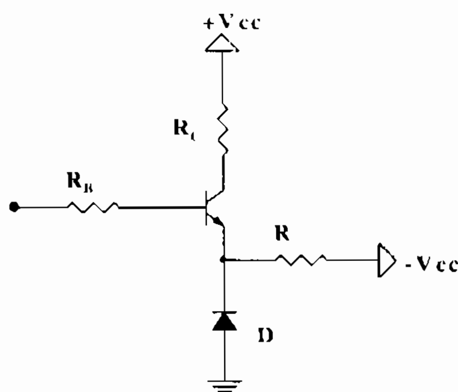
Để giới hạn ảnh hưởng của nhiệt độ làm "điện áp mức không bị trôi" người ta thường phân cực cho transistor làm việc với dòng điện I_B nhỏ, lúc đó transistor có I_{CBO} càng nhỏ càng tốt.

2) Bù ảnh hưởng của nhiệt độ

Để tránh hiện tượng điện áp mức không bị trôi người ta có thể dùng các mạch bù ảnh hưởng của nhiệt độ lên điện áp V_{BE} và dòng điện rỉ I_{CBO} như mạch điện hình 5.5a và 5.5.b.

a) Bù mức thay đổi điện áp V_{BE}

Mạch điện hình 5.5a dùng cầu phân áp R và diod D có tác dụng ghim áp cho cực E. Do nối đến nguồn âm $-V_{CC}$ nên cực E có điện áp âm là điện áp phân cực cho diod D.



Hình 5.5a: Ghim áp ở cực E

$$V_E = -V_D \approx -0{,}7V \qquad \text{và} \qquad V_B = 0V$$

$$\Rightarrow \quad V_{BE} = V_B - V_E = V_B + V_D = V_D \approx 0{,}7V$$

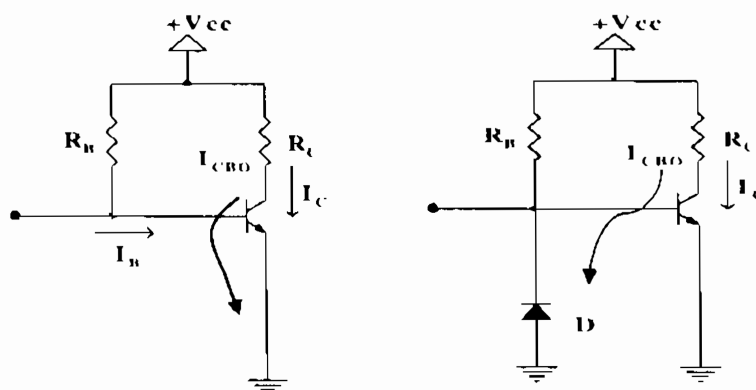
Khi nhiệt độ tăng sẽ làm giảm V_{BE} nhưng do diod D cũng chịu ảnh hưởng của nhiệt độ nên V_D cũng giảm nhỏ hơn 0,7V. Do đó, diod D có tác dụng bù cho mức thay đổi của điện áp V_{BE} khi nhiệt độ tăng.

b) Bù cho dòng điện rỉ I_{CBO}

Khi nhiệt độ tăng dòng điện rỉ I_{CBO} cũng tăng và dòng điện rỉ này làm dòng I_B tăng dẫn tới I_C tăng và làm điện áp mức không bị trôi. Trong sơ đồ hình 5.5b, diod D ghép song song ngược chiều với mối nối BE. Khi nhiệt độ tăng làm tăng I_{CBO} và diod D cũng có điện

trở ngược giảm nên dòng điện rỉ I_{CBO} của transistor sẽ qua diod D xuống mass chứ không vào mối nối BE. Như vậy, dòng I_B không tăng và I_C không tăng nên không làm thay đổi mức điện áp ra.

Ngoài yếu tố nhiệt độ làm thay đổi các thông số kỹ thuật của transistor làm cho điện áp mức không bị trôi còn có yếu tố khác là sự thay đổi mức điện áp nguồn V_{CC}. Khi điện áp nguồn thay đổi trị số sẽ làm thay đổi điện áp V_B -V_C và dẫn đến trôi điện áp mức không. Tuy nhiên vấn đề này được giải quyết một cách đơn giản là sử dụng nguồn ổn áp để có điện áp V_{CC} là hằng số.



Hình 5.5b: Không có diod và có diod D song song BE

§5.5- CÁCH TÍNH HỆ SỐ ỔN ĐỊNH NHIỆT

Qua các phần phân tích và lý luận trên ta thấy để tránh ảnh hưởng của nhiệt độ các thông số của transistor dẫn tới sai điểm làm việc tĩnh, người ta dùng nhiều cách phân cực cho transistor khác nhau, mỗi cách phân cực có tác dụng và hiệu quả ổn định nhiệt khác nhau. Để đặc trưng cho tác dụng và hiệu quả ổn định nhiệt, người ta định nghĩa hệ số ổn định nhiệt là:

$$\overline{S} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CBO}} \qquad \left\{ \begin{array}{l} S\text{: stability = độ ổn định} \\ \overline{S}\text{ : phủ định của S} \end{array} \right\}$$

$\overline{S}$ còn được gọi là "độ bất ổn định nhiệt". Cách gọi này hợp lý hơn vì theo định nghĩa $\overline{S}$ càng nhỏ thì mạch càng ổn định về nhiệt độ, nghĩa là $\overline{S}$ càng nhỏ thì "độ bất ổn định nhiệt" càng thấp.

Công thức tổng quát để tính hệ số ổn định nhiệt $\overline{S}$ là:

$$\overline{S} = \frac{q}{q - \alpha}$$

- q là hệ số tùy thuộc cách phân cực cho transistor

- α là hệ số khuếch đại dòng điện ráp kiểu B chung.

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

Hệ số q đã được giới thiệu trong Chương 1 bằng thiết kế mẫu hình 1.14.

Chương 6

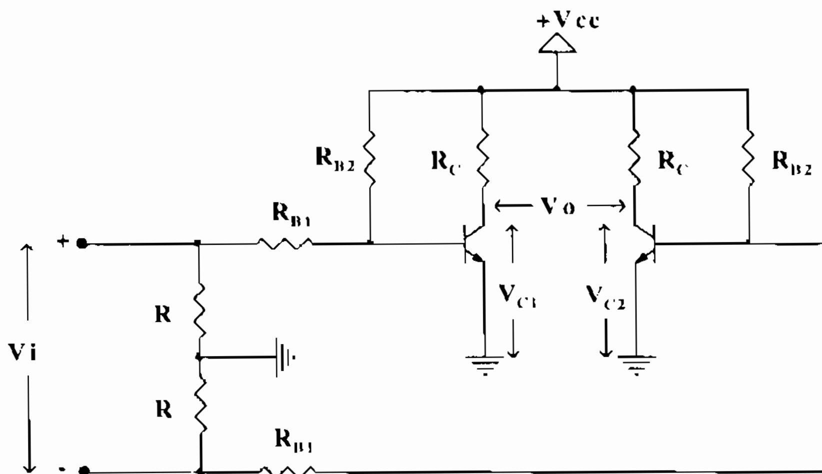
MẠCH KHUẾCH ĐẠI VI SAI DARLINGTON, CASCODE

§6.1- MẠCH KHUẾCH ĐẠI VI SAI

Để có thể khuếch đại các tín hiệu có tần số rất thấp hay các tín hiệu biến thiên chậm và không có tính chu kỳ, người ta thường dùng mạch khuếch đại DC theo kiểu liên lạc trực tiếp. Mạch này đáp ứng tần số thấp rất tốt nhưng lại có hiện tượng điện áp trôi, do đo, để tránh hiện tượng điện áp trôi và tăng khả năng chống nhiễu ở các tầng khuếch đại đầu tiên người ta dùng mạch khuếch vi sai (Differential Amplifier).

1) Sơ đồ mạch cơ bản

Mạch khuếch đại vi sai cơ bản có sơ đồ như hình 6.1, trong đó hai transistor T_1 - T_2 là hai transistor cùng tên, các điện trở phân cực có trị số giống nhau.



Hình 6.1: Mạch vi sai cơ bản

Tín hiệu vào được đưa vào hai cực B_1 - B_2, trong đó R là điện trở nhận tín hiệu của mỗi transistor.

Khi ở ngõ vào có điện áp v_i, do tính phân áp của hai điện trở R nên $\frac{1}{2}v_i$ sẽ tác động vào mỗi transistor. Mạch sẽ có hai trường hợp: khi cực B_1 nhận điện áp dương thì cực B_2 nhận điện áp âm so với mass và ngược lại.

Theo hình vẽ 6.1, ở ngõ ra điện áp V_{C1} giảm và điện áp V_{C2} tăng. Điện áp ra lấy giữa hai cực C là:

$$\Delta V_o = \Delta V_{C1} - \Delta V_{C2}$$

Thông thường, transistor được phân cực với điều kiện $R_{B2} >> r_{be}$ nên độ lợi điện áp của mỗi transistor:

$$A_{V1} = A_{V2} = \frac{\Delta V_{C1}}{\Delta V_{i1}} = \frac{\Delta V_{C1}}{\Delta V_{i2}} = -\beta \frac{R_C}{R_{B1}+r_{be}}$$

Suy ra: $\Delta V_{C1} = A_{V1}.\Delta V_{i1} = 1/2\, A_{V1}.\Delta V_i$

$$\Delta V_{C2} = A_{V2}.\Delta V_{i2} = -1/2 A_{V2}.\Delta V_i$$

Do: $\Delta V_o = \Delta V_{C1} - \Delta V_{C2} = A_V.\Delta V_i$

Suy ra : $$\boxed{A_V = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} = -\beta \frac{R_C}{R_{B1}+r_{be}}}$$

Trong đó: $r_{be} = r_b + (1+\beta).\frac{26mA}{I_E}$

Công thức trên cho thấy mạch khuếch đại vi sai dùng hai transistor nhưng độ lợi điện áp chỉ bằng độ lợi của tầng khuếch đại với một transistor.

2) Đặc điểm của mạch khuếch đại vi sai

Như đã phân tích trên, khi có điện áp tín hiệu ở ngõ vào thì do cầu phân áp dùng hai điện trở R làm cho cực B_1 có điện áp dương và cực B_2 có điện áp âm hay ngược lại. Lúc đó, T_1 dẫn mạnh làm V_{C1} giảm và T_2 dẫn yếu làm V_{C2} tăng sẽ cho tín hiệu ngõ ra ΔV_{C1} và ΔV_{C2} ngược dấu.

Điện áp ra của mạch vi sai:

$$\Delta V_o = \Delta V_{C1} - \Delta V_{C2} = 2\Delta V_{C1} = 2\Delta V_{C2}$$

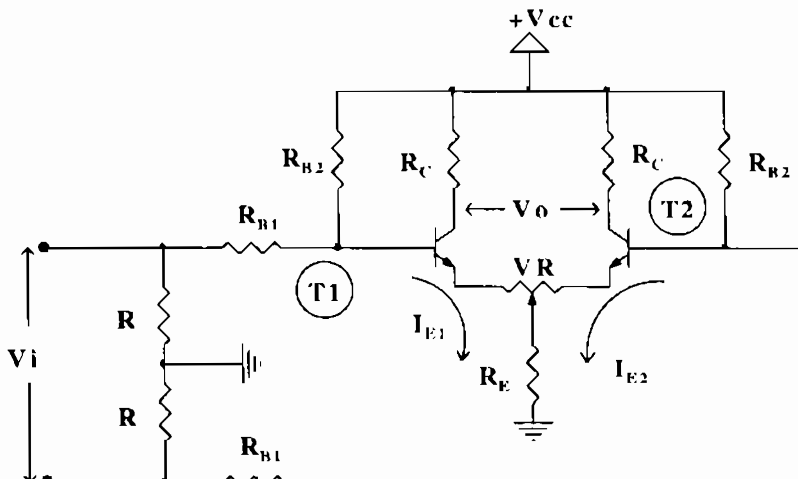
Khi có tín hiện nhiễu phá rồi thì tín hiệu nhiễu sẽ tác động đồng thời lên cực B_1 và B_2 với điện áp đồng pha (cùng dương hay cùng âm). Như vậy, ở ngõ ra ΔV_{C1} và ΔV_{C2} biến thiên cùng hướng sẽ triệt tiêu nhau và $\Delta V_o = 0$.

Như vậy, mạch khuếch đại vi sai có khả năng chống nhiễu rất tốt. Tín hiệu nhiễu ở đây có thể là tín hiệu điện từ, nhiệt độ môi trường hay sư biến thiên điện áp của nguồn.

3) Tỉ số nén đồng pha (CMRR: Common Model Rejection Ratio)

Để đánh giá khả năng chống nhiễu của mạch khuếch đại vi sai người ta đưa ra khái niệm tỉ số nén đồng pha CMRR.

Trong sơ đồ hình 6.2, điện trở R_E có tác dụng làm tăng khả năng chống nhiễu của mạch, biến trở VR có tác dụng tạo sự cân bằng dòng điện I_{C1} và I_{C2}.



Hình 6.2: Mạch vi sai có R_E

Trong các mạch khuếch đại dùng transistor, điện trở R_E có tác dụng ổn định nhiệt và là mạch hồi tiếp âm dòng điện.

Trong mạch khuếch đại vi sai, điện trở R_E nhận đồng thời hai dòng điện I_{E1} và I_{E2}. Tác động ổn định nhiệt R_E trong trong mạch khuếch đại vi sai có nguyên lý sau:

- Giả thiết nhiệt độ môi trường tăng làm T_1 bị nóng lên => I_{C1} tăng => I_{E1} tăng qua R_E => V_E chung tăng. Lúc đó I_{BE1} giảm nên T_1 chạy yếu trở lại => dòng điện I_{C1} giảm => I_{E1} giảm xuống mức độ trung bình.
- Ngược lại, giả thiết nhiệt độ môi trường tăng làm T_2 bị nóng lên => I_{C2} tăng => I_{E2} tăng qua R_E => V_E chung tăng. Lúc đó V_{BE2} giảm nên T_2 chạy yếu trở lại => dòng I_{C2} giảm => I_{E2} giảm xuống mức trung bình.

Như vậy, nếu chọn trị số R_E đủ lớn thì khi dòng I_E tăng ít cũng làm V_E tăng cao đủ để tạo hồi tiếp ổn định nhiệt, giảm hiện tượng điện áp trôi ở ngõ ra và chống các tín hiệu nhiễu đồng pha.

Trường hợp ở ngõ vào nhận tín hiệu vi sai sẽ điều khiển hai transistor chạy ngược hướng nhau (T_1 chạy mạnh thì T_2 chạy yếu và ngược lại) nên khi I_{C1} tăng thì I_{C2} giảm và do $2I_E = I_{C1} + I_{C2}$ nên dòng điện qua R_E là $2I_E$ có trị số gần như không đổi.

Như vậy, điện trở R_E không có tác dụng hồi tiếp âm đối với tín hiệu vi sai và như thế độ lợi của mạch khuếch đại vi sai không đổi và vẫn được tính theo công thức:

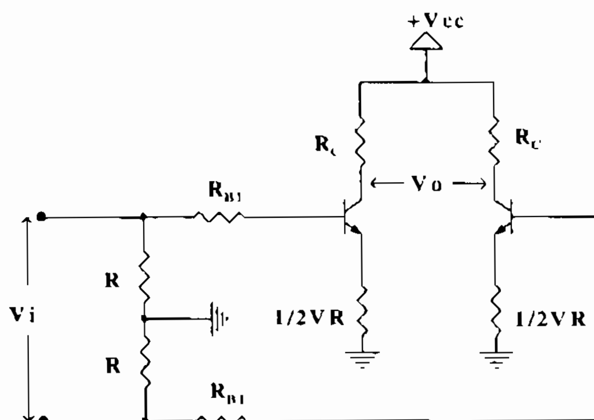
$$A_V = \frac{\Delta V_O}{\Delta V_I} = -\beta\frac{R_C}{R_{B1}+r_{be}}$$

Khi phân tích, tính toán cho mạch khuếch đại vi sai người ta xét riêng hai trường hợp:

- có tín hiệu vi sai
- có tín hiệu nhiễu đồng pha.

Hình 6.3 là mạch tương đương khi xét ngõ vào là tín hiệu vi sai, điện áp đặt vào cực B_1 và B_2 là hai tín hiệu ngược pha nhau.

Lúc đó, điện trở R_E không có tác dụng nên ở cực E_1 và E_2 chỉ còn ½ VR (biến trở điều chỉnh tạo sự cân bằng dòng điện I_{C1} - I_{C2}).



Hình 6.3: Mạch tương đương với tín hiệu vi sai

Tổng trở ngõ vào của mạch hình 6.3:

$$r_i = 2(R_{B1} + r_{be} + ½\,\beta VR)$$

và do: $r_{be} = r_b + \beta r_e$

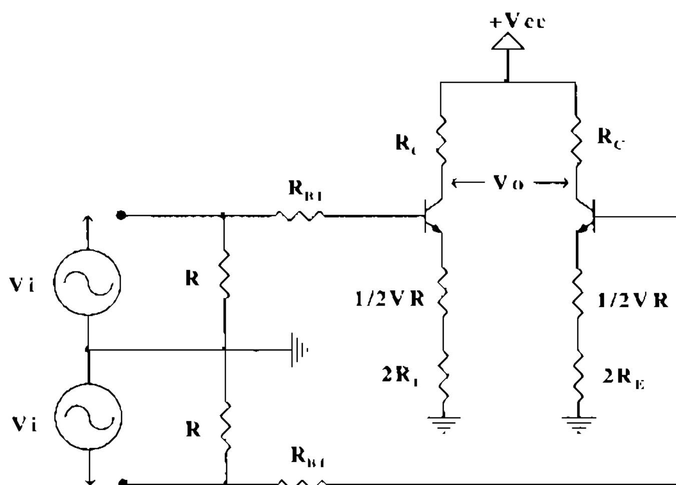
nên ta có: $r_i = 2(R_{B1} + r_b + \beta r_e + ½\,\beta VR)$

Đặt: $R_B = R_{B1} + r_b$ và $R_E = r_e + ½\,VR$

Suy ra: $r_i = 2(R_B + \beta R_E)$

Ở ngõ ra, dòng tín hiệu lấy ở hai cực C_1, C_2 nên dòng tín hiệu đi từ cực C_1 qua C_2 phải qua tổng trở ngõ ra là: $r_o \approx 2R_C$.

Hình 6.4 là mạch tương đương khi xét tín hiệu đồng pha nhau. Lúc đó, điện trở R_E có tác dụng ổn định nhiệt và dòng điện qua R_E là $2I_E$, nên khi vẽ trong mạch tương đương, điện trở R_E cho mỗi transistor là $2R_E$ để vẫn có điện áp ở cực E là $V_E = 2I_ER_E$.



Hình 6.4: Mạch tương đương với tín hiệu đồng pha

Với cách phân tích tương tự, vẫn có thể tính được tổng trở ở ngõ vào và ngõ ra của mạch hình 6.4, nhưng lưu ý là tín hiệu vào v_i đặt vào cực B của từng transistor so với mass chứ không đặt vào giữa hai cực B như tín hiệu vi sai.

Để đánh giá chất lượng của mạch khuếch đại vi sai người ta thường dùng tỉ số nén đồng pha (CMRR) được định nghĩa theo hệ thức sau:

$$CMRR = \frac{A_V \text{ vi sai}}{A_V \text{ đồng pha}} = \frac{\text{(Độ lợi điện áp vi sai)}}{\text{(Độ lợi điện áp đồng pha)}}$$

Nếu mạch có tính đối xứng một cách lý tưởng thì độ lợi áp đồng pha bằng 0, như vậy, tỉ số CMRR tiến đến vô cực, khả năng chống nhiễu của mạch vô cùng lớn.

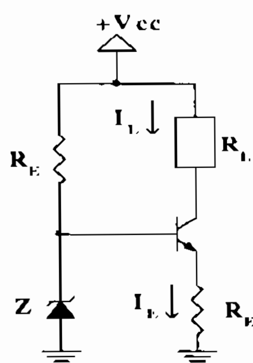
§6.2- MẠCH KHUẾCH ĐẠI VI SAI CÓ NGUỒN ỔN DÒNG

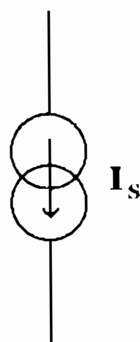
1) Mạch ổn dòng cơ bản

Mạch ổn dòng viết tắt là VCCR (Voltage Controlled Current Source = nguồn dòng điện được kiểm soát bằng điện áp) còn được gọi là nguồn dòng hằng.

Mạch ổn dòng là mạch giữ cho dòng tải ổn định mà không phụ thuộc theo điện áp nguồn V_{CC} hay trị số của điện trở tải R_L trong một giới hạn cho phép.

Sơ đồ hình 6.5 là mạch ổn dòng cơ bản dùng một transistor và diod Zener.





Hình 6.5: Mạch ổn dòng cơ bản Hình 6.6: Ký hiệu nguồn ổn dòng

Theo mạch phân cực ta có:

$V_B = V_Z$ (hằng số).

$V_E = V_B - V_{BE} = V_Z - 0,7V$ (hằng số).

Suy ra: $I_E = \dfrac{V_E}{R_E} = \dfrac{V_Z - 0,7V}{R_E}$ (hằng số)

Do: $I_L = I_C \approx I_E$ nên dòng điện tải cũng có trị số ổn định theo công thức trên mà không tùy thuộc trị số tải R_L hay điện áp nguồn V_{CC} trong một giới hạn cho phép.

Theo định nghĩa, mạch ổn định dòng hay nguồn ổn dòng có tổng trở được tính theo công thức. $r_1 = \dfrac{\Delta V}{\Delta I_S}$

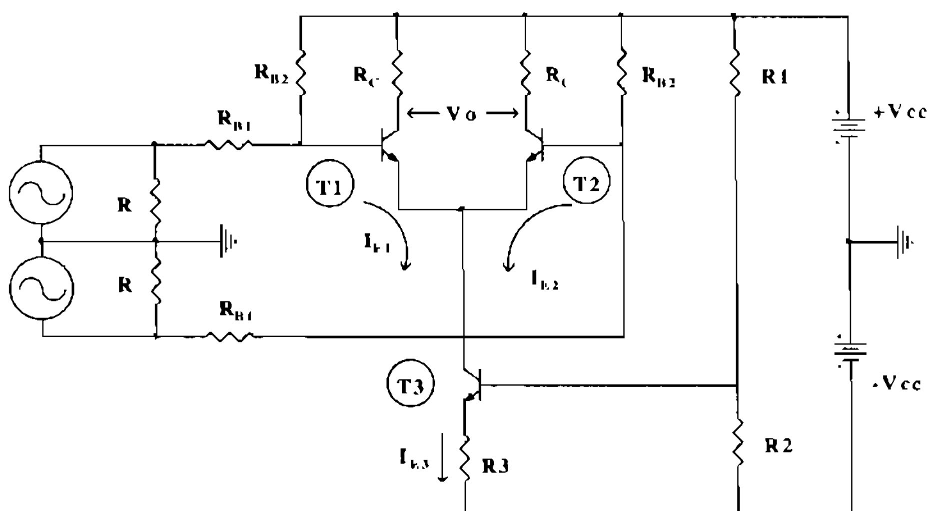
Trong đó: ΔV là mức biến đổi điện áp

ΔI_S là mức biến đổi dòng điện của nguồn.

Do dòng I_S là hằng số nên $\Delta I_S = 0$. Như vậy tổng trở r_i sẽ vô cùng lớn.

2) Mạch khuếch đại vi sai có nguồn ổn dòng

Trong mạch khuếch đại vi sai, khi có tín hiệu vào vi sai sẽ làm T_1 dẫn mạnh -> I_{E1} tăng -> T_2 dẫn yếu -> I_{E2} giảm. Điều này làm cho dòng điện qua R_E là $2I_E$ không đổi như mạch ổn dòng. Như vậy, có thể thay R_E bằng mạch ổn dòng như mạch điện hình 6.7 trong đó T_3 là mạch ổn dòng thay cho R_E.



Hình 6.7: Mạch vi sai có nguồn ổn dòng T_3

Hai nguồn $+V_{CC}$ và $-V_{CC}$ là hai nguồn dương và âm, có thể đối xứng hoặc không đối xứng, và là hai nguồn ổn áp. Cầu phân áp R_1-R_2 có tác dụng phân cực ổn định cho T_3 nên có dòng I_{C3} ổn định tính theo công thức:

$$I_{C3} \approx I_{E3} = \frac{V_{R3}}{R_3} \qquad \text{và} \qquad I_{C3} = I_{E1} + I_{E2}$$

Theo phân tích, trên mạch ổn dòng T_3 có nội trở r_i rất lớn thay cho R_E. Khi R_E rất lớn làm tăng tác dụng hồi tiếp ổn định nhiệt và làm cho độ khuếch đại đồng pha $A_V = 0$. Lúc đó, tỉ số nén đồng

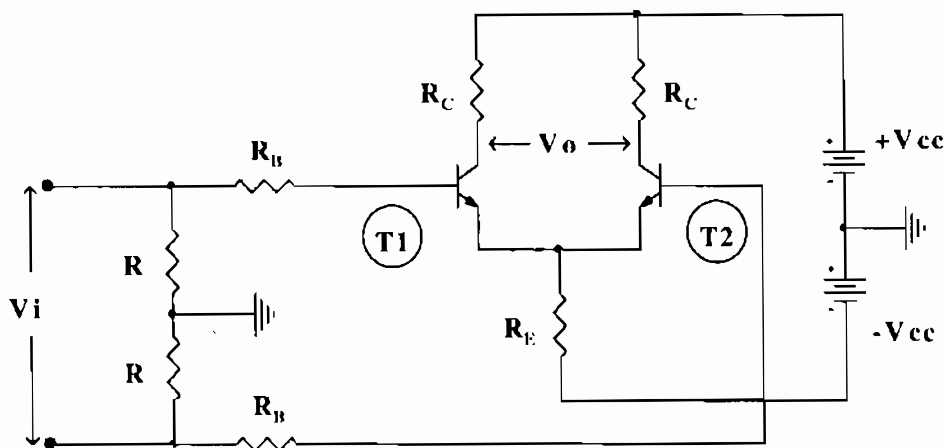
pha CMRR sẽ vô cùng lớn và mạch khuếch đại vi sai có khả năng chống nhiễu rất tốt.

§6.3- CÁC MẠCH KHUẾCH ĐẠI VI SAI THÔNG DỤNG

1) Mạch khuếch đại ngõ vào và ra cân bằng

Hình 6.8 là mạch khuếch đại vi sai cơ bản có R_E để tăng khả năng chống nhiễu.

Mạch dùng hai nguồn $+V_{CC}$ và $-V_{CC}$ có thể đối xứng hoặc không đối xứng. Với cách phân cực này cực B có thể không dùng cầu phân áp $R_{B1} - R_{B2}$ và cực B có $V_{B1} = V_{B2} = 0V$. Lúc đó, V_E sẽ có điện áp âm $V_E \approx -0,7V$.



Hình 6.8: Ngõ vào và ra cân bằng

Các thông số kỹ thuật của mạch:

- Độ khuếch đại điện áp vi sai:

$$A_V = -\beta\frac{R_C}{R_{B1} + r_{be}}$$

- Tỉ số nén đồng pha CMRR rất lớn

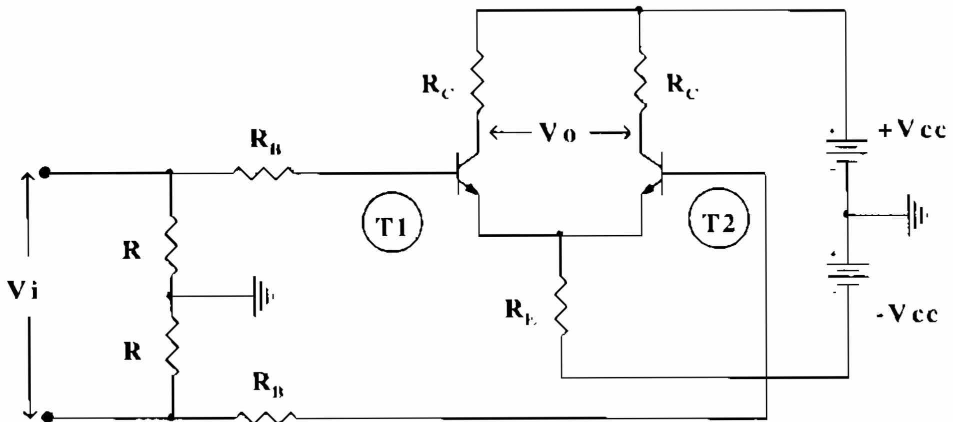
- Tổng trở ngõ vào: $r_i = 2(R_B + r_{be})$

- Tổng trở ngõ ra: $r_o = 2R_C$

Đây là mạch khuếch đại ngõ vào của các tầng khuếch đại DC có ngõ ra đối xứng.

3) Mạch khuếch đại ngõ vào cân bằng, ra không cân bằng

Mạch điện hình 6.9 có ngõ ra không cân bằng, tín hiệu chỉ lấy từ cực C_1 xuống mass nên điện áp ra bị giảm một phần hai so với mạch 6.8.



Hình 6.9: Ngõ ra không cân bằng

Điện trở R_E có tác dụng giảm hiện tượng điện áp trôi.

Về phân cực ta vẫn có:

$$V_{B1} = V_{B2} = 0V \qquad \text{và} \qquad V_{E1} = V_{E2} = -0,7V$$

Các thông số kỹ thuật của mạch:

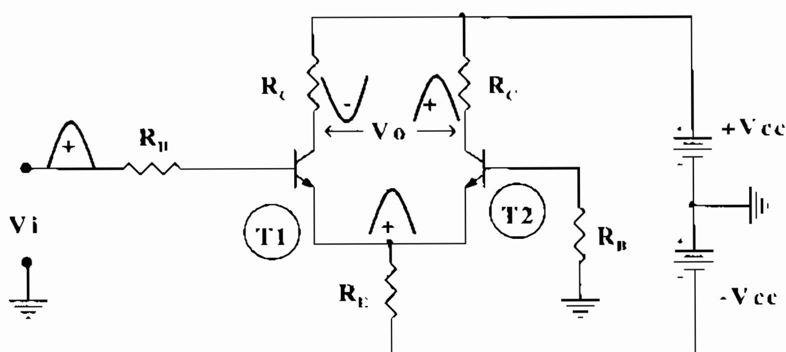
- Độ khuếch đại điện áp vi sai: $A_V = -\frac{1}{2}\beta\frac{R_C}{R_B + r_{be}}$

- Tổng trở ngõ vào: $r_i = 2(R_B + r_{be})$

- Tổng trở ngõ ra: $r_o = R_C$

Mạch này thường dùng làm tầng khuếch đại trung gian trong Ampli hay các mạch khuếch đại DC.

4) Mạch khuếch đại ngõ vào không cân bằng, ra cân bằng



Hình 6.10: Ngõ vào không cân bằng

Mạch điện hình 6.10 là trường hợp ngược lại của hình 6.9, tín hiệu v_i chỉ cho vào cực B_1 so với mass.

Về phân cực một chiều ta vẫn có:

$$V_{B1} = V_{B2} = 0V$$

$$V_{E1} = V_{E2} = -0,7V$$

Khi có tín hiệu v_i ở ngõ vào, T_1 khuếch đại sẽ cho ra hai tín hiệu ở cực C_1 và E_1. Lúc đó, T_2 được xem như transistor khuếch đại áp kiểu B chung có tín hiệu vào cực E_2 và ra ở cực C_2.

Ta xét trường hợp tín hiệu v_i có bán kỳ dương vào cực B_1, cực C_1 có tín hiệu ra đảo pha là bán kỳ âm trong khi cực E_1 có tín hiệu ra đồng pha là bán kỳ dương. Đối với T_2 có tín hiệu vào E_2 là bán kỳ dương của cực C_2 có tín hiệu ra đồng pha là bán kỳ dương vì mạch khuếch đại B chung là mạch khuếch đại đồng pha.

Như vậy, tín hiệu ra trên hai cực C_1 và C_2 cũng là tín hiệu ngược pha nhau sẽ làm cho điện áp ra v_o tăng gấp đôi so với tín hiệu v_{c1}.

Các thông số kỹ thuật của mạch:

- Độ khuếch đại điện áp sai: $A_V = -\beta \dfrac{R_C}{R_B + r_{be}}$

- Tổng trở ngõ vào: $r_i = 2(R_B + r_{be})$

- Tổng trở ngõ ra: $r_o = 2R_C$

Mạch này có tác dụng đổi từ tín hiệu không cân bằng ra tín hiệu cân bằng.

5) Mạch khuếch đại ngõ vào và ngõ ra không cân bằng

Mạch điện hình 6.11 cũng dùng hai transistor như mạch khuếch đại vi sai cơ bản nhưng tín hiệu vào v_i chỉ đưa vào cực B_1 so với mass và tín hiệu ra chỉ lấy trên cực C_1 so với mass.

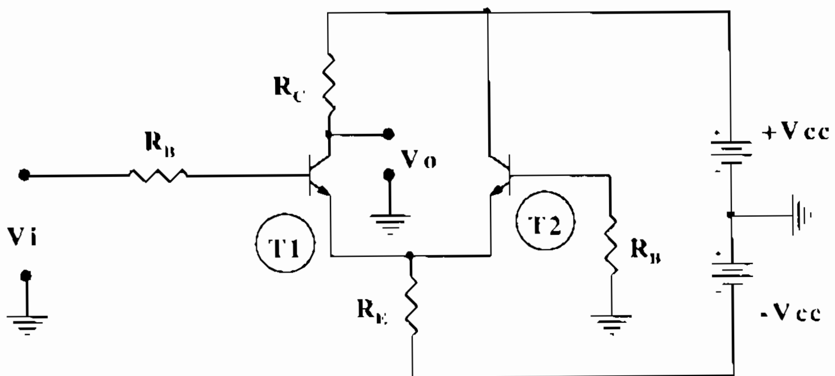
Hai transistor T_1 và T_2 vẫn có tác dụng trừ tín hiệu nhiễu đồng pha hay ảnh hưởng của nhiệt độ tác dụng lên hai transistor.

Về phân cực một chiều ta vẫn có:

$$V_{B1} = V_{B2} = 0V$$

$$V_{E1} = V_{E2} = 0,7V$$

T_1 là transistor khuếch đại đảo pha ráp kiểu E chung.



Hình 6.11: Ngõ vào và ra không cân bằng

Các thông số kỹ thuật của mạch:

- Độ khuếch đại điện áp vi-sai: $A_V = -\frac{1}{2}\beta\frac{R_c}{R_B + r_{be}}$

- Tổng trở ngõ vào: $r_i = 2(R_B + r_{be})$

- Tổng trở ngõ ra: $r_o = R_c$

§6.4- PHƯƠNG PHÁP GIẢM HIỆN TƯỢNG ĐIỆN ÁP TRÔI

Mạch khuếch đại vi sai có hiện tượng điện áp trôi là do đặc tính kỹ thuật của hai transistor không giống nhau hoàn hoàn toàn, mặt dù là hai transistor cùng tên, do cùng một hãng sản xuất trong cùng một loạt hàng (series). Để tránh hiện tượng điện áp trôi trong mạch khuếch đại vi sai người ta thường dùng các biện pháp sau:

1) Dùng điện trở R_E không đối xứng

Sự mất đối xứng của hai transistor là do điện áp V_{BE} khác nhau. Để bù lại sự khác biệt này người ta điều chỉnh dòng điện I_E bằng cách thay đổi R_E.

Trong mạch hình 6.12 biến trở VR sẽ làm thay đổi giá trị số R_{E1} và R_{E2}. Nếu chỉnh biến trở VR sang cực E_1 thì R_{E1} giảm, R_{E2} tăng và ngược lại. Khi hai điện trở R_{E1} và R_{E2} khác nhau thì dòng điện I_{E1} và I_{E2} cũng khác nhau.

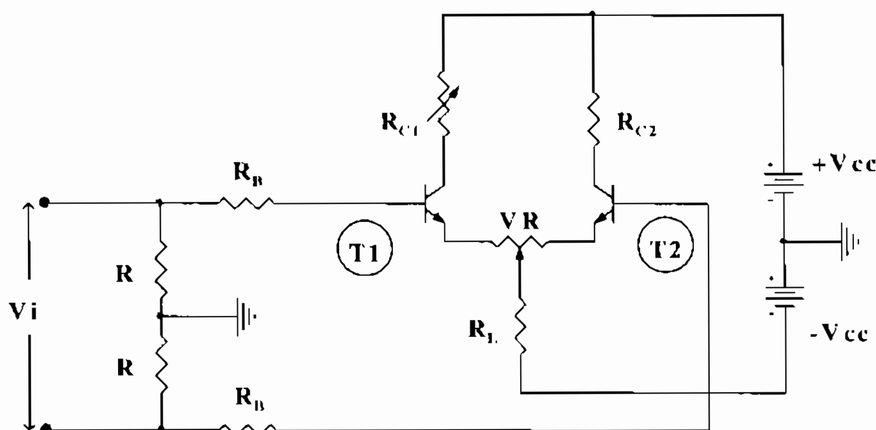
Cách thực hiện:

- Bước 1: Điều chỉnh $R_{C1} = R_{C2}$

- Bước 2: Điều chỉnh biến trở VR để cho dòng I_{E1} khác I_{E2} nhằm bù lại sự mất đối xứng giữa hai V_{BE1} và V_{BE2}. Khi đó I_{C1} khác I_{C2} sẽ làm cho V_{C1} khác V_{C2}.

- Bước 2: Điều chỉnh lại biến trở R_{C1} sao cho $V_{C1} = V_{C2}$ để có $V_o = 0V$.

Cách điều chỉnh này làm cho R_{C1} khác R_{C2} nên sẽ làm mạch bị giảm khả năng chống nhiễu đồng pha.



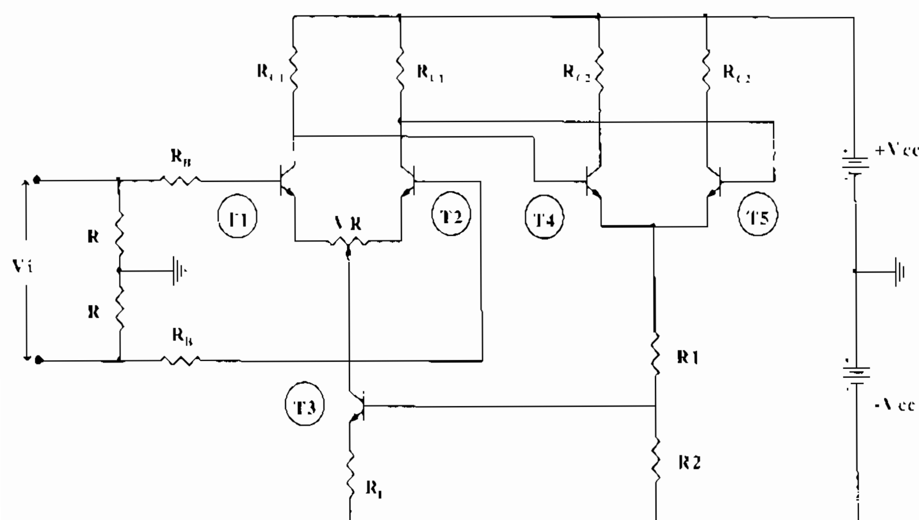
Hình 6.12: Điện trở R_E không đối xứng

2) Dùng mạch hồi tiếp đồng pha

Trong sơ đồ mạch điện hình 6.13 có hai mạch khuếch đại vi sai, trong đó mạch vi sai T_1 - T_2 có T_3 là transistor ổn dòng thay cho R_{E1}, mạch vi sai T_3 - T_5 có R_E là cầu phân áp R_1 - R_2 để lấy điện áp hồi tiếp về cực B_3.

Khi có tín hiệu nhiễu đồng pha hay có ảnh hưởng của nhiệt độ, cả hai transistor cùng chịu tác động như sau: giả thiết tín hiệu nhiễu đồng pha làm V_{B1} - V_{B2} tăng nên I_{C1} - I_{C2} tăng làm V_{C1} - V_{C2} giảm. Điều này làm cho V_{B4} – V_{B5} giảm nên I_{C4} – I_{C5} giảm đưa đến $V_{E4} = V_{E5}$ giảm và điện áp hồi tiếp V_E giảm nên V_{B3} giảm. Như đã biết: $I_{C3} = I_{C1} + I_{C2}$ nê.. khi V_{B3} giảm sẽ làm cho I_{C3} giảm tức là I_{C1} và I_{C2} không tăng được, mạch có độ ổn định tốt.

Như vậy, tín hiệu nhiễu đồng pha đã bị giảm hay bị loại bỏ bởi tác dụng của mạch hồi tiếp, nhờ đó, tránh hiện tượng điện áp trôi.



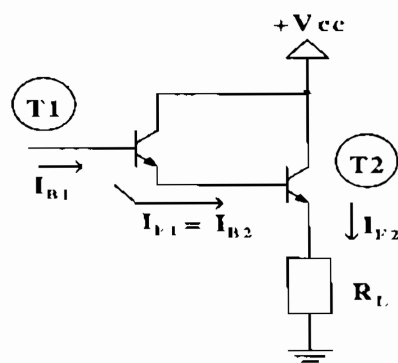
Hình 6.13: Tránh điện áp trôi bằng mạch hồi tiếp đồng pha

§6.5- MẠCH DARLINGTON

Trong các mạch khuếch đại cần có độ khuếch đại dòng điện thật lớn hay các mạch cần có tổng trở vào lớn, có thể dùng hay hai nhiều transistor ráp tổ hợp theo sơ đồ mạch Darlington để đạt các yêu cầu trên.

1) Mạch Darlington cơ bản

Mạch Darlington cơ bản có sơ đồ như hình 6.14, trong đó cực E_1 nối trực tiếp vào cực B_2 nên $I_{E1} = I_{B2}$.



Hình 6.14: Mạch Darlington cơ bản

Transistor T_1 có: $I_{E1} \approx I_{C1} = \beta_1 I_{B1}$ (1)

Transistor T_2 có: $I_{E2} \approx I_{C2} = \beta_2 I_{B2}$ (2)

Do mạch Darlington có $I_{E1} = I_{B2}$ nên thay (1) vào (2) ta có:

$$I_{E2} = \beta_2 I_{B2} = \beta_2 I_{E1}$$
$$= \beta_2 \beta_1 I_{B1} = \beta_1 \beta_2 I_{B1}$$

Suy ra: $I_{E2} = \beta_1 \beta_2 I_{B1}$

Nếu gọi dòng điện ngõ vào của mạch là I_i thì $I_i = I_{B1}$, dòng điện ngõ ra của mạch là I_o thì $I_o = I_{E2}$ và gọi β là độ khuếch đại dòng điện của toàn mạch thì:

$$\beta = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_{E2}}{I_{B1}} = \beta_1 \beta_2$$

Giả sử T_1 có $\beta_1 = 100$, T_2 có $\beta_2 = 80$

Độ khuếch đại dòng điện của mạch Darlington:

$$\beta = \beta_1 \, \beta_2 = 100 \, . \, 80 = 8000$$

Như vậy, dòng điện ra trên tải sẽ bằng 8000 lần dòng điện ở ngõ vào. Mạch Darlington có độ khuếch đại dòng rất lớn.

2) Xét tổng trở vào mạch Darlington

Như đã biết, tổng trở vào của transistor ráp kiểu C chung:

$$r_i = r_{be} + \beta R_E$$

Nếu nhìn vào từ cực B_2 thì tổng trở vào của T_2:

$$r_{i2} = r_{be2} + \beta_2 R_L$$

Nếu nhìn vào từ cực B_1 thì tổng trở vào của T_1 là tổng trở vào của toàn mạch:

$$r_i = r_{i1} = r_{be1} + \beta r_{i2}$$

$$=> \quad r_i = r_{be} + \beta_1 (r_{be} + \beta_2 R_L) \qquad (\text{cho } r_{be} \approx r_{be2})$$

$$=> \quad r_i = (\beta + 1)\, r_{be} + \beta_1 \beta_2 R_L \qquad (\text{rất lớn})$$

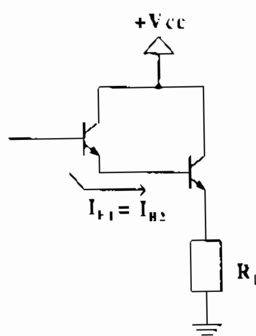
Như đã chứng minh phần trên, tích số $\beta_1 \beta_2$ rất lớn nên tổng trở vào của mạch Darlington sẽ rất lớn.

Mạch Darlington ngoài tác dụng tạo độ khuếch đại dòng điện rất lớn, còn có tác dụng đổi tổng trở từ rất lớn ở ngõ vào ra rất nhỏ của tải.

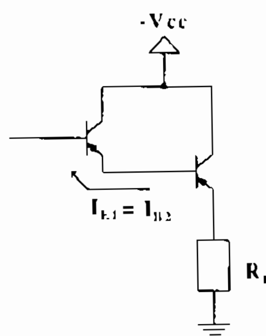
3) Các kiểu mạch Darlington

Trong thực tế mạch Darlington có thể dùng hai transistor cùng loại NPN hay cùng loại PNP và cũng có thể dùng một transistor NPN tổ hợp với một transistor PNP.

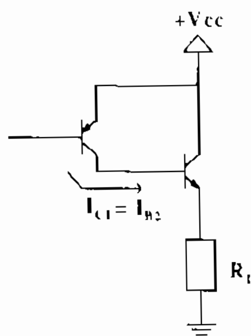
Có bốn kiểu mạch Darlington như sau:



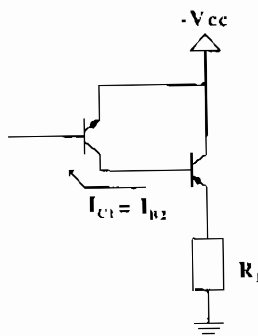
Hình 6.15a



Hình 6.15b



Hình 6.15c



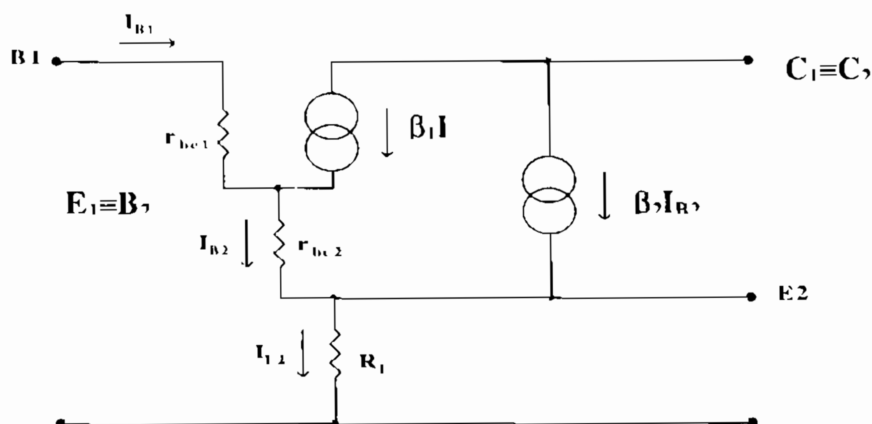
Hình 6.15d

Sơ đồ hình 6.15a dùng hai transistor NPN với nguồn dương $+V_{CC}$, sơ đồ hình 6.15b dùng hai transistor PNP với nguồn âm $-V_{CC}$. Hai mạch này có quan hệ dòng giữa hai transistor là: $I_{E1} = I_{E2}$.

Sơ đồ 6.15c và 6.15d dùng hai transistor khác loại với nguồn điện theo loại transistor T_2. Hai mạch này có quan hệ dòng điện giữa hai transistor: $I_{C1} = I_{B2}$

3) Mạch tương đương của cách ráp Darlington

Sơ đồ hình 6.16 là mạch tương đương của hai transistor Darlington trong hình 6.15a và 6.15b. Trong mạch này hai transistor ráp kiểu C chung, tín hiệu lấy ra ở cực E_2. Thật ra, mạch Darlington vẫn có thể ráp kiểu E chung nhưng do mạch có độ khuếch đại dòng lớn nên thường được dùng ở tầng khuếch đại công suất và tầng này lại có yêu cầu đổi tổng trở lớn ra tổng trở nhỏ để dung hợp với tải có tổng trở nhỏ. Vì thế mạch Darlinton thường được ráp kiểu C chung như các kiểu mạch trong hình 6.15.



Hình 6.16: Mạch tương đương của hình 6.15a và 6.15b

§6.6- MẠCH CASCODE

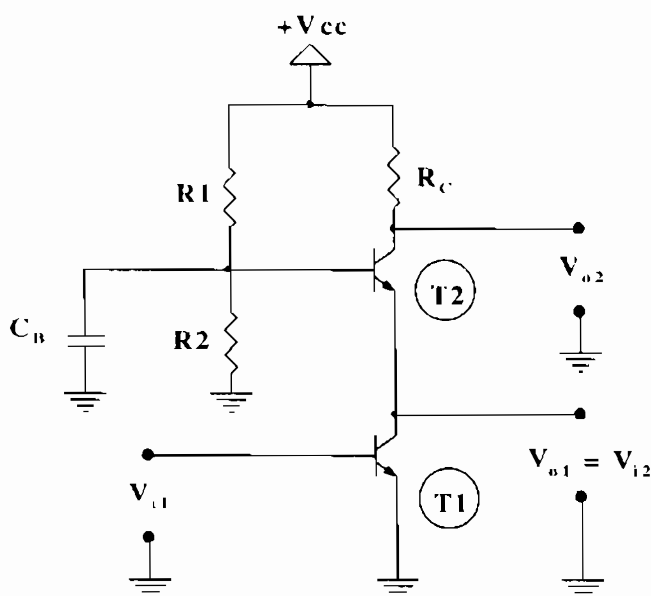
Mạch Cascode gồm hai transistor khuếch đại ghép chồng lên nhau như sơ đồ hình 6.17, trong đó T_1 là transistor khuếch đại

ngõ vào ráp kiểu E chung, T_2 là transistor khuếch đại ngõ ra ráp kiểu B chung vì có tụ C_B phân dòng.

Cầu phân áp R_1 – R_2 để phân cực một chiều cho hai transistor và điện áp V_{B2} phải đủ cao vì:

$$V_{C1} = V_{E2} = V_{B2} - V_{BE} = V_{B2} - 0,7V$$

Lúc đó, V_{C1} có mức điện áp đủ lớn để T_1 làm việc trong vùng tuyến tính (vùng khuếch đại) của transistor.



Hình 6.17: Mạch Cascode

Tín hiệu ra sau T_1 và V_{o1} chính là tín hiệu vào V_{i2} của T_2. Do T_2 ráp kiểu B chung nên có tổng trở vào nhỏ, tổng trở ra rất lớn, nhờ đó, T_2 có tác dụng ngăn cách ảnh hưởng của ngõ ra đến ngõ vào, nhất là ở tần số cao.

Mạch Cascode có độ khuếch đại điện áp bằng độ khuếch đại điện áp của mạch ráp kiểu E chung nhưng có điện dung Miller ở ngõ vào nhỏ (tác dụng này sẽ được phân tích trong giáo trình "Mạch điện tử – Tập 2").

Điện áp tín hiệu V_{i1} và V_{o1} đảo pha nhau nhưng điện áp tín hiệu V_{o1} và V_{o2} đồng pha nhau.

Khi điều chỉnh điện áp phân cực của cầu phân áp $R_1 - R_2$ sẽ làm thay đổi mức điện áp một chiều của cả V_{o1} và V_{o2}

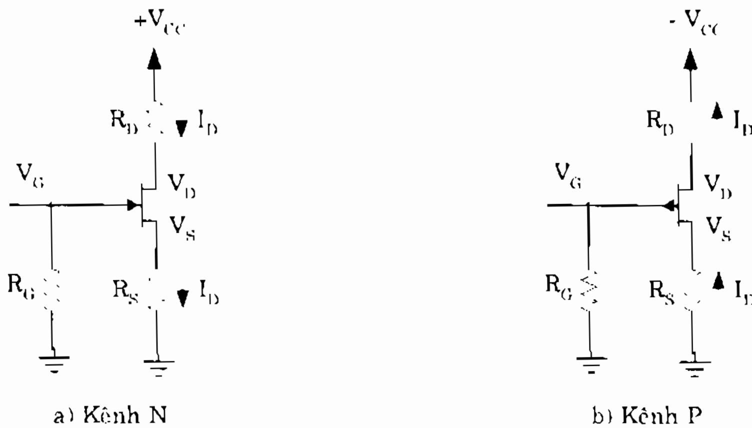
Chương 7

MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG FET

§7.1- PHÂN CỰC CHO TRANSISTOR TRƯỜNG ỨNG

1. Phân cực cho JFET

Cách phân cực đơn giản và thông dụng cho JFET là phân cực tự động như hình 7.1.



Hình 7.1: Phân cực tự động cho JFET

Xét mạch kênh N ta có:

$$V_D = V_{CC} - I_D R_D$$

$$V_S = I_S R_S$$

$$V_{DS} = V_{CC} - I_D (R_D + R_S)$$

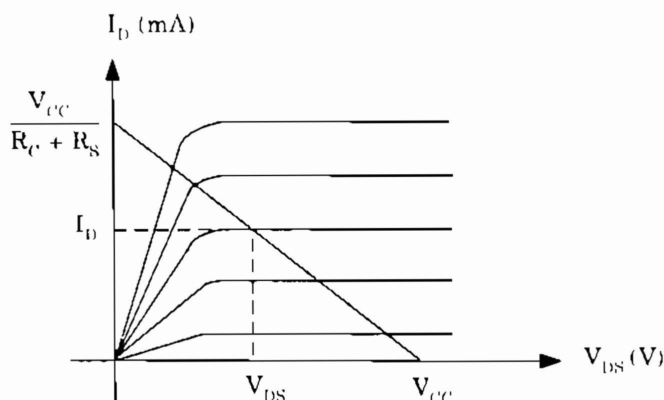
Ở cực G được phân cực ngược mối nối PN nên không có dòng điện I_G ($I_G = 0$) và $V_G = 0V$.

Điện trở R_G có trị số rất lớn khoảng 1MΩ đến 10MΩ.

Điện áp phân cực ngõ vào:

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0V - I_D R_S = - I_D R_S$$

Phương trình đường tải tĩnh: $$I_D = \frac{V_{CC} - V_{DS}}{R_D + R_S}$$



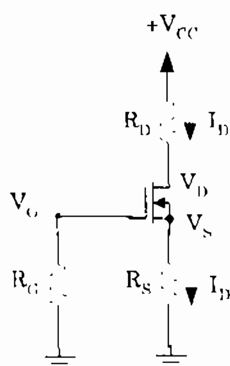
Hình 7.2: Đường tải tĩnh của mạch khuếch đại dùng JFET

Cách xác định đường tải tĩnh cho mạch dùng JFET tương tự như transistor lưỡng nối và được vẽ như hình 7.2.

2. Phân cực cho MOSFET liên tục

MOSFET liên tục có thể phân cực theo hai hướng, hướng tăng tiết diện kênh nếu $V_{GS} > 0V$ và hướng giảm tiết diện kênh nếu $V_{GS} < 0V$.

Trong thực tế MOSFET liên tục thường được sử dụng ở trường hợp giảm tiết diện kênh với $V_{GS} < 0V$ nên cách phân cực giống như JFET. Mạch điện hình 7.3 là mạch phân cực tự động cho MOSFET liên tục. Cách tính các trị số điện áp V_D, V_S, V_{DS}, V_{GS}, dòng điện I_D và cách xác định đường tải tĩnh giống như mạch JFET.

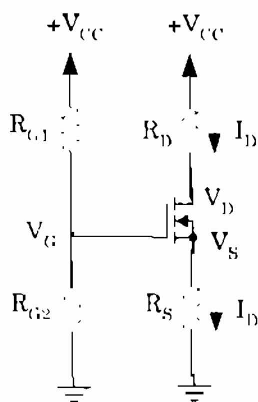


Hình 7.3: Phân cực tự động cho MOSFET liên tục

3. Phân cực cho MOSFET gián đoạn

MOSFET gián đoạn chỉ dẫn điện khi được phân cực theo hướng tăng tiết diện kênh. Mạch điện hình 7.4 là mạch phân cực cho MOSFET gián đoạn.

Để cung cấp điện áp dương cho cực G ta thường dùng cầu phân áp R_{G1} – R_{G2} (tương tự như cầu phân áp R_{B1} – R_{B2} của transistor lưỡng nối). Đối với MOSFET, cực G cách điện so với kênh và nền P nên không có dòng điện I_G đi từ cực G vào MOSFET.



Hình 7.4: Phân cực tự động cho MOSFET gián đoạn

Xét mạch phân cực ta có:

$$V_D = V_{CC} - I_D R_D$$

$$V_S = I_D R_S$$

$$V_{DS} = V_{CC} - I_D (R_D + R_S)$$

$$V_G = V_{CC} \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}}$$

$$V_{GS} = V_G - V_S$$

Phương trình đường tải: $I_D = \frac{V_{CC} - V_{DS}}{R_D + R_S}$

Cách xác định đường tải tĩnh cho MOSFET gián đoạn cũng giống như cách xác định đường tải tĩnh cho transistor lưỡng nối và JFET.

Cầu phân áp $R_{G1} - R_{G2}$ thường được chọn trị số sao cho dòng điện qua cầu phân áp này khoảng vài μA. Dòng điện này khá lớn so với dòng điện rỉ ở cực G nhưng phải khá nhỏ so với dòng điện I_D. Thông thường $R_{G1} + R_{G2}$ khoảng vài mêga ôm đến vài chục MΩ.

§7.2- MẠCH KHUẾCH ĐẠI CƠ BẢN

1. Phân tích mạch khuếch đại FET

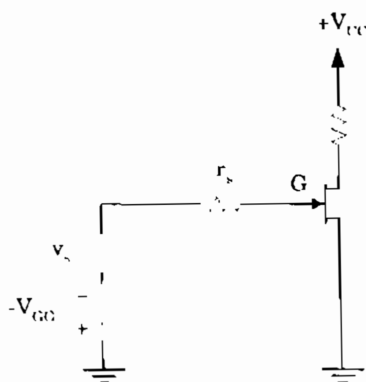
Mạch khuếch đại hình 7.5 dùng JFET kênh N. Nguồn phân cực cho cực G là nguồn âm $-V_{GG}$, nguồn cấp cho cực tháo là nguồn dương $+V_{CC}$.

Tín hiệu đưa vào cực G là nguồn v_s có nội trở là r_s. Do dòng điện ở cực cửa I_G có trị số rất nhỏ không đáng kể nên giảm áp một chiều và xoay chiều qua r_s không đáng kể. Như vậy, điện áp một chiều và tín hiệu xoay chiều ở cực G là:

- Điện áp một chiều: $V_{GS} = -V_{GG}$
- Tín hiệu xoay chiều: $v_{gs} = v_s$

Điện áp toàn thể gồm cả một chiều và xoay chiều là:

$v_S = v_{gs} + V_{GS}$



Hình 7.5: Mạch khuếch đại JFET

Điện áp toàn thể tại cực tháo:

$v_{DS} = V_{DD} - R_D i_D$

Trong đó i_D gồm thành phần một chiều I_D và tín hiệu i_d.

Điện áp một chiều V_{DS} phải lớn hơn điện áp nghẽn V_P với:

$V_P = V_{GS} + V_{PO}$

Dòng điện toàn thể (một chiều và tín hiệu) ở cực tháo là:

$$i_D = I_{DSS}\left(1 + \frac{v_{GS}}{V_{PO}}\right)^2 = I_{DS}\left(1 + \frac{V_{GS}}{V_{PO}} + \frac{v_S}{V_{PO}}\right)^2$$

Thay vào điện áp toàn thể ở cực tháo ta có:

$$v_{DS} = V_{DD} - R_D I_{DSS}\left(1 + \frac{V_{GS}}{V_{PO}} + \frac{v_S}{V_{PO}}\right)^2$$

Trường hợp tín hiệu nguồn v_s là tín hiệu hình sin, thay vào khai triển và đơn giản sẽ có điện trở ngõ ra ở cực tháo:

$$v_{ds} = -2R_D \cdot I_{DSS}\left(1 + \frac{V_{GS}}{V_{PO}}\right)\frac{v_S}{V_{PO}} = v_O$$

Độ lợi điện áp của mạch:

$$A_V = \frac{v_O}{v_S} = -\frac{2R_D I_{DSS}}{V_{PO}}\left(1 + \frac{V_{GS}}{V_{PO}}\right)$$

2. Các trị công suất của mạch

Xét trường hợp tín hiệu vào là hình sin. Công suất tiêu tán nhiệt tức thời của FET là: $P_D = v_{DS}\, i_D$

Trong công thức này có cả thành phần một chiều và xoay chiều gồm:

$$I_D = I_D + i_d, \quad v_{DS} = V_{DS} + v_{ds}$$

Ở trạng thái tĩnh, công suất tiêu tán: $P_D = V_{DS} I_D$

Công suất tức thời cung cấp từ nguồn điện: $P_{DD} = V_{DD}\, i_D = V_{DD}\, I_D + V_{DD}\, i_d$

Do dòng điện i_d là tín hiệu hình sin có trị trung bình bằng không nên công suất cung cấp trung bình:

$$P_{DD} = V_{DD}\, I_D$$

Đây chính là công suất cung cấp khi chưa có tín hiệu.

Công suất tức thời ra trên tải R_D ở cực tháo:

$$P_T = R_D\, i_D^2 = R_D\,(I_D + I_d)^2$$

$$= R_D\, I_D^2 + 2\, R_D\, I_D\, i_d + R_D\, i_d^2$$

Dòng điện i_d của tín hiệu số trị số trung bình bằng không và trị trung bình của i_d^2 chính là bình phương trị số hiệu dụng I_d nên:

$$P_T = R_D I_D^2 + R_D I_d^2$$

Công suất do nguồn cung cấp chính là công suất tiêu tán trên FET và công suất ra trên tải.

Ta có: $P_{DD} = P_D + P_T$

§7.3- MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG

Tương tự như transistor lưỡng nối, JFET và MOSFET cũng có thể đổi thành mạch tương đương gồm các phần tử như điện trở, nguồn dòng điện, nguồn điện áp trong điều kiện tuyến tính hay đối với tín hiệu nhỏ.

Ở ngõ vào, cực G được coi như cách ly hẳn so với kênh dẫn điện của cực S và D. Ở ngõ ra có thể đổi thành nguồn điện áp v_{ds} hay nguồn dòng điện i_d.

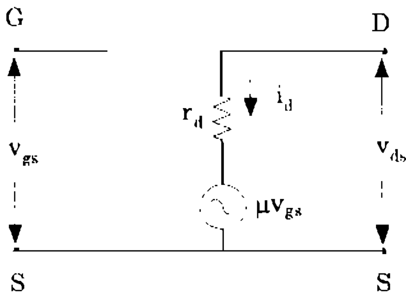
Trường hợp đổi thành nguồn điện áp ta có:

$$\mu = \frac{v_{ds}}{v_{gs}} \quad \Rightarrow \quad v_{ds} = \mu v_{gs}$$

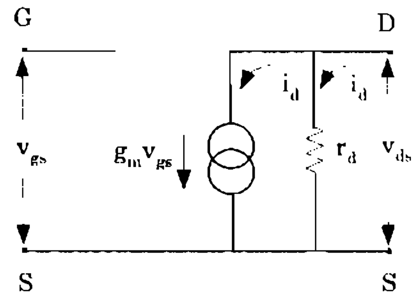
Trường hợp đổi thành nguồn dòng điện ta có:

$$g_m = \frac{i_d}{v_{gs}} \quad \Rightarrow \quad i_d = g_m v_{gs}$$

Mạch tương đương của JFET và MOSFET như hình 7.6, 7.7.

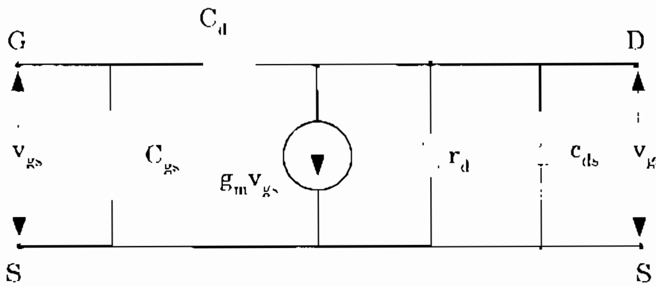


Hình 7.6: Ngõ ra là nguồn điện áp



Hình 7.7: Ngõ ra là nguồn dòng điện

Khi khảo sát mạch khuếch đại dùng FET ở tần số cao, người ta còn xét đến các điện dung ký sinh giữa các cực gọi là điện dung liên cực như: c_{gs} giữa cực cổng và cực nguồn, c_{gd} giữa cực cổng và cực tháo, c_{ds} giữa cực tháo và cực nguồn. Các điện dung ký sinh có trị số khoảng vài pF.



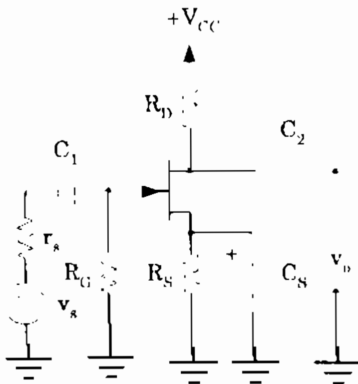
Hình 7.8: Mạch tương đương ở tần số cao

§7.4- CÁCH DẠNG KHUẾCH ĐẠI THÔNG DỤNG

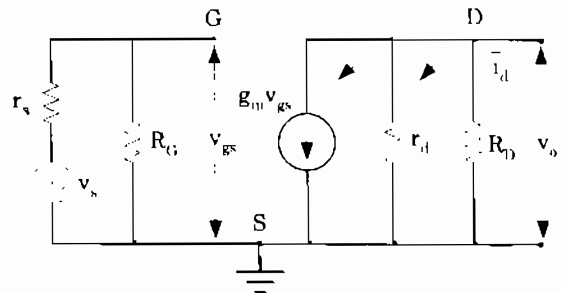
1. Mạch khuếch đại cực nguồn chung

a) Mạch khuếch đại cực nguồn chung có tụ C_s

Thông thường, mạch khuếch đại dùng FET cũng được phân cực tự động nhờ điện trở R_S ở cực nguồn như hình 7.9.



Hình 7.9: Mạch khuếch đại nguồn chung có C_s



Hình 7.10: Mạch tương đương

Điện trở cực tháo R_D để lấy tín hiệu ra, các tụ điện liên lạc có tác dụng cách ly điện áp một chiều và chỉ cho tín hiệu xoay chiều qua, tụ phân dòng C_S dùng để nối tắt tín hiệu xoay chiều xuống mass loại bỏ tác dụng hồi tiếp âm trên R_S. Các tụ điện C_1 –

C_2 – C_S phải chọn trị số đủ lớn để có dung kháng rất nhỏ ở khoảng tần số của tín hiệu khuếch đại nên có thể xem như nối tắt.

Nguồn tín hiệu ngõ vào có biên độ là v_s và nội trở của nguồn là r_s.

Hình 7.10 là mạch tương đương với ngõ ra là nguồn dòng điện.

Ở ngõ ra R_D ghép song song r_d nên có tổng trở ngõ ra tương đương:

$$R_O = \frac{r_d R_D}{r_d + R_D}$$

Điện áp của tín hiệu ra:

$$v_o = i_d R_O$$

$$v_o = -g_m v_{gs} R_O$$

Dấu trừ (-) trong công thức do tính khuếch đại đảo của mạch.

Độ khuếch đại điện áp của mạch là: $A_V = \frac{v_O}{v_S} \cong \frac{v_O}{v_{gs}}$

Do điện trở R_G rất lớn khoảng vài MΩ, trong khi r_s rất nhỏ khoảng vài trăm Ω nên: $v_{gs} \approx v_S$

Lúc đó: $$A_V = \frac{v_O}{v_{gs}} = -g_m R_O = -\frac{r_d R_D}{r_d + R_D}$$

Trường hợp chọn điện trở R_D khá nhỏ so với r_d (r_d = vài chục KΩ) thì $R_O \approx R_D$.

Độ khuếch đại điện áp được tính theo công thức gần đúng:

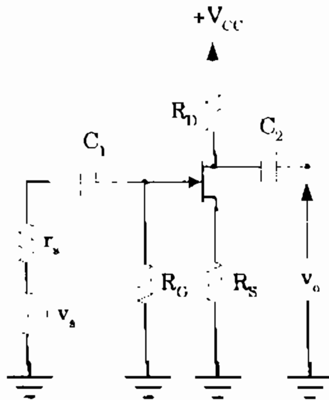
$$A_V = \frac{v_O}{v_{gs}} = -g_m R_D$$

Theo công thức gần đúng trên thì độ lợi điện áp tỉ lệ thuận với R_D với điều kiện R_D phải khá nhỏ so với r_d.

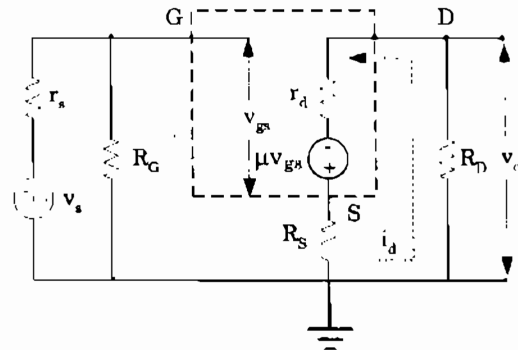
Thường độ lợi chỉ đạt đến mức vài chục lần.

b) Mạch khuếch đại nguồn chung không có tụ C_S

Khi bỏ tụ phân dòng C_S như mạch điện hình 7.11 thì mạch tương đương được vẽ lại như hình 7.12. Như vậy, dòng điện tín hiệu i_d sẽ qua R_S cùng dòng điện một chiều I_D và tín hiệu qua R_S sẽ tạo điện áp hồi tiếp làm thay đổi nhiều thông số của mạch, trong đó có độ lợi điện áp.



Hình 7.11: Không có tụ Cs



Hình 7.12: Mạch tương đương

Giả thiết điện áp giảm qua r_S không đáng kể, theo mạch tương đương ta có:

$$v_S = v_{gs} + i_d R_S \quad (1)$$

và $$i_d = \frac{\mu\, v_{gs}}{R_S + r_d + R_D} \quad (2)$$

Ở ngõ ra: $$v_O = -i_d R_D = \frac{-\mu\, v_{gs} R_D}{R_S + r_d + R_D} \quad (3)$$

Từ phương trình (1) và (2) suy ra:

$$V_{gs} = \frac{R_S + r_d + R_D}{(1+\mu)R_S + r_d + R_D} \times v_s \quad (4)$$

Từ phương trình (3) suy ra độ khuếch đại áp riêng của FET:

$$A_V' = \frac{v_O}{v_{gs}} = \frac{-\mu R_D}{R_S + r_d + R_D} \quad (5)$$

Thay thế: $\mu = g_m r_d$ vào (5) ta có:

$$A_V' = \frac{v_O}{v_{gs}} = \frac{-g_m r_d R_D}{R_S + r_d + R_D} \quad (6)$$

Từ phương trình (4) và (6) suy ra độ khuếch đại điện áp chung cho toàn mạch:

$$A_V = \frac{v_O}{v_s} = \frac{-g_m r_d R_D}{(1+\mu) R_S + r_d + R_D} \quad (7)$$

So sánh độ khuếch đại điện áp của (7) với độ khuếch đại điện áp trong mạch có tụ C_S phân dòng thì ở mẫu số có thêm $(1+\mu)R_S$. Điều này làm độ khuếch đại điện áp bị giảm do tác dụng hồi tiếp âm.

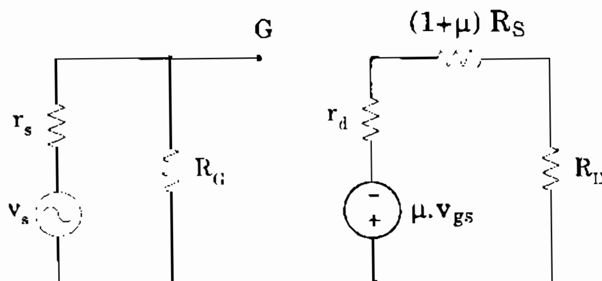
Phương trình (7) có thể viết dạng khác và suy ra điện áp v_o:

$$A_V = \frac{v_O}{v_s} = \frac{-\mu R_D}{(1+\mu) R_S + r_d + R_D} \quad (8)$$

$$\Rightarrow \quad v_O = -\mu v_s \times \frac{R_D}{(1+\mu) R_S + r_d + R_D} \quad (9)$$

$$v_O \approx -\mu v_{gs} \times \frac{R_D}{(1+\mu) R_S + r_d + R_D} \quad (10)$$

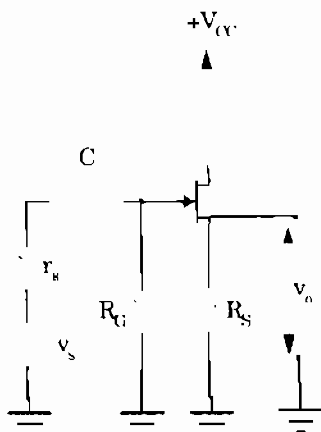
Với phương trình (10) mạch tương đương có thể vẽ lại:



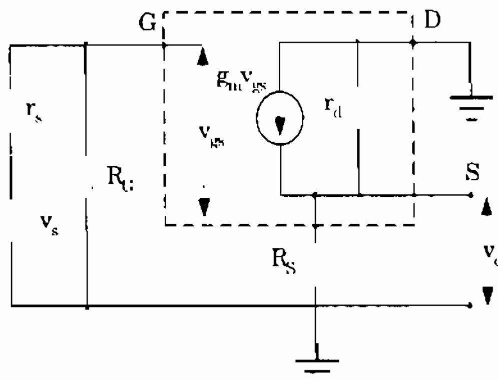
Hình 7.13: Mạch tương đương rút gọn

2. Mạch khuếch đại cực tháo chung

Mạch khuếch đại cực tháo chung dùng FET có sơ đồ và mạch tương đương như hình 7.14 và 7.15.



Hình 7.14: Mạch cực tháo chung



Hình 7.15: Mạch tương đương

Trong sơ đồ, cực D nối lên nguồn $+V_{CC}$ nên được xem như nối mass đối với tín hiệu xoay chiều. Như vậy, điện trở r_d và R_S được nối song song nhau.

Từ mạch tương đương kiểu nguồn dòng, điện áp xoay chiều ra được tính theo công thức:

$$v_O = g_m v_{gs} \times \frac{r_d R_S}{r_d + R_S} \qquad (1)$$

Điện trở r_s của nguồn tín hiệu thường có trị số nhỏ (≈ vài trăm Ω) trong khi điện trở R_G trị số rất lớn (≈ vài MΩ) nên: $v_g \approx v_s$.

Ta có: $v_{gs} = v_s - v_o$ (2)

Thay thế (2) vào (1) suy ra độ lợi điện áp của mạch:

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{g_m}{g_m + \frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_S}} = \frac{R_S}{(\mu+1)R_S + r_d} \qquad (3)$$

Thông thường g_m khá lớn so với $1/r_d$ nên có thể viết:

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} \approx \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} \qquad (4)$$

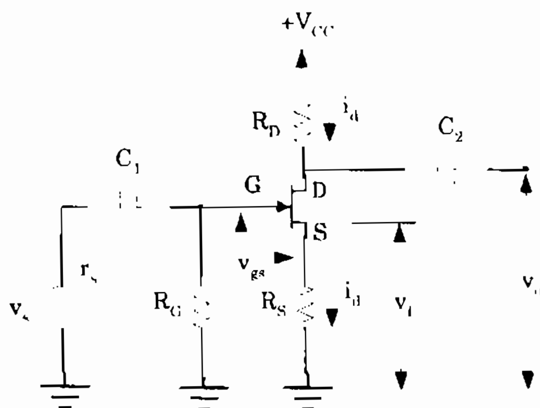
Phương trình (4) cho thấy độ lợi điện áp của mạch nhỏ hơn 1 và là mạch khuếch đại đồng pha.

§7.5- MẠCH KHUẾCH ĐẠI HỒI TIẾP DÙNG FET

Như đã phân tích trong chương 3, mạch hồi tiếp âm có tác dụng cải thiện chất lượng của tín hiệu ra ở các mạch khuếch đại trong khi hồi tiếp dương dùng để tự tạo tín hiệu trong các mạch dao động. Do đó, trong phần này chỉ giới thiệu các mạch hồi tiếp âm.

1. Hồi tiếp âm dòng điện ghép nối tiếp

Mạch khuếch đại có hồi tiếp âm dòng điện ghép nối tiếp chính là mạch khuếch đại dùng FET không có tụ phân dòng C_S như hình 7.16.



Hình 7.16: Mạch khuếch đại hồi tiếp âm dòng điện

Khi khuếch đại, dòng điện của tín hiệu ra i_d qua điện trở R_S tạo ra điện áp xoay chiều v_s chính là tín hiệu hồi tiếp v_f.

Khi tín hiệu vào v_s tăng làm v_{gs} tăng dẫn đến i_d tăng sẽ làm cho tín hiệu hồi tiếp v_f cũng tăng. Như vậy, tín hiệu hồi tiếp v_f đồng pha với tín hiệu vào v_s.

Ta có: $v_{gs} = v_s - v_f$

Do v_f và v_s đồng pha nên v_{gs} nhỏ hơn v_s nghĩa là mạch hồi tiếp âm.

Trong phần mạch khuếch đại, cực nguồn chung không có C_S, độ lợi điện áp là:

$$A_v = A_{vF} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{-\mu R_D}{(1+\mu)R_S + r_d + R_D}$$

Theo nguyên lý hồi tiếp thì hệ số hồi tiếp của mạch:

$$b = \frac{v_f}{v_o} = \frac{i_d R_S}{i_d R_D} = \frac{R_S}{R_D}$$

Người ta phân biệt độ lợi vòng hở (khi chưa có hồi tiếp):

$$A_{vo} = \frac{v_o}{v_{gs}} = \frac{-i_d R_D}{v_{gs}} = \frac{\frac{-\mu v_{gs}}{r_d + R_D + R_S}}{v_{gs}} = \frac{-\mu R_D}{r_d + R_D + R_S}$$

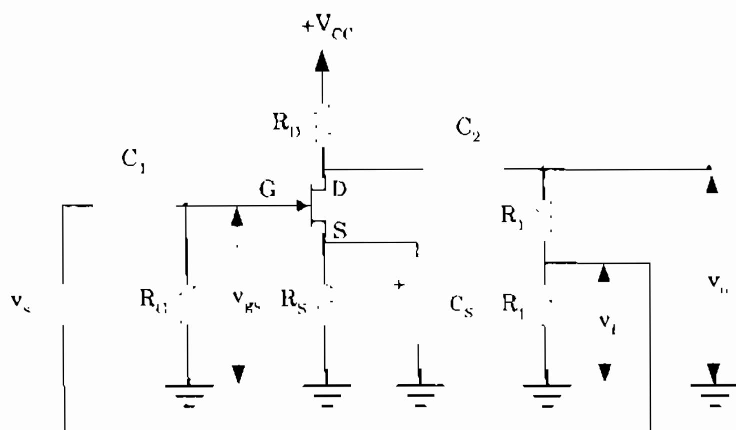
Độ lợi vòng kín hay độ lợi hồi tiếp:

$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{A_{vo}}{1 - bA_{vo}}$$

Thay A_{vo} vào công thức tính A_{VF} ta vẫn có:

$$A_{vf} = \frac{-\mu R_D}{(1+\mu)R_S + r_d + R_D}$$

2. Hồi tiếp âm điện áp ghép nối tiếp



Hình 7.17: Mạch khuếch đại hồi tiếp âm điện áp

Trong mạch hồi tiếp âm điện áp hình 7.17 tín hiệu hồi tiếp lấy trên cầu phân áp $R_1 - R_2$ ở ngõ ra được ghép nối tiếp với nguồn tín hiệu v_s để đưa vào cực G.

Tụ phân dòng C_S ghép song song với R_S có tác dụng nối tắt tín hiệu xoay chiều trên cực S xuống mass. Tín hiệu vào ở v_{gs} chính là tín hiệu từ cực G xuống mass.

Như vậy ta có: $v_{gs} = v_s + v_f$

Trong mạch khuếch đại ráp cực nguồn chung, tín hiệu vào và ra đảo pha nhau nên v_s và v_f đảo pha nhau.

Do đó, v_{gs} nhỏ hơn v_s và mạch là loại mạch hồi tiếp âm.

Theo định nghĩa, hệ số hồi tiếp:

$$b = \frac{v_f}{v_o} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Do cầu phân áp $R_1 - R_2$ nên điện trở tải ở ngõ ra:

$$R_t = R_D // (R_1 + R_2) = \frac{R_D(R_1 + R_2)}{R_D + R_1 + R_2}$$

Độ khuếch đại vòng hở của mạch (khi chưa có hồi tiếp):

$$A_{VO} = \frac{v_o}{v_{gs}} = \frac{-\mu R_L}{r_d + R_L} \qquad (1)$$

Độ khuếch đại hồi tiếp là:

$$A_{VF} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{A_{VO}}{1 - b\, A_{VO}}$$

Thay A_{VO} và b vào công thức A_{VF} ta có:

$$A_{VF} = \frac{-\dfrac{\mu}{1+\mu b} \times R_L}{\dfrac{r_d}{1+\mu b} + R_L} \qquad (2)$$

So sánh dạng biểu thức (1) và (2), ta đặt:

$$\mu' = \frac{\mu}{1+\mu b} \quad \text{và} \quad r_d' = \frac{r_d}{1+\mu b}$$

Ta sẽ có: $$A_{VF} = -\frac{\mu' R_L}{r_d' + R_L} \qquad (3)$$

Như vậy, khi có hồi tiếp thì hệ số khuếch đại μ và nội trở r_d sẽ bị giảm 1+ μb lần. Điều này có nghĩa là mạch khuếch đại hồi tiếp sẽ bị giảm độ khuếch đại nhưng cũng giảm nội trở ngõ ra để thích ứng với các tải có trị số điện trở nhỏ hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1- Nguyễn Tấn Phước - "Linh kiện điện tử" - 2003 - NXB Giao thông vận tải.

2- Nguyễn Tấn Phước - "Linh kiện điều khiển" – 2004 – NXB Tổng hợp TP Hồ Chí Minh.

3- Nguyễn Tấn Phước - "Mạch tương tự" - 2004 - NXB Hồng Đức.

4- Nguyễn Hữu Phương - "Điện tử trung cấp" -1992 – NXB Tổng hợp TP Hồ Chí Minh.

5- Tom Floyd - Fundamentals of Linear Circuit - 1991

6- Ghausi - Electronic Circiuts -1972



TỦ SÁCH KỸ THUẬT ĐIỆN - ĐIỆN TỬ
CỦA TÁC GIẢ NGUYỄN TẤN PHƯỚC

*** GIÁO TRÌNH ĐIỆN TỬ KỸ THUẬT**

1- Linh kiện điện tử (khổ 16x24) (tái bản lần thứ 10)
2- Mạch điện tử - Tập 1 (khổ 16x24) (tái bản lần thứ 6)
3- Mạch điện tử - Tập 2 (khổ 16x24) (tái bản lần thứ 5)
4- Mạch điện tử - Tập 3 (sắp xuất bản)
5- Mạch số - tập 1, 2 (đã xuất bản)
6- Mạch tương tự (khổ 16x24) (tái bản lần thứ 3)

*** GIÁO TRÌNH ĐIỆN TỬ CÔNG NGHIỆP**

1- Linh kiện điều khiển (tái bản lần thứ 6)
2- Kỹ thuật xung căn bản và nâng cao (tái bản lần thứ 4)
3- Điện tử ứng dụng trong công nghiệp- Tập 1 (tái bản lần thứ 4)
4- Điện tử ứng dụng trong công nghiệp- Tập 2 (sắp xuất bản)
5- Điện tử công suất (tái bản lần thứ 2)

*** GIÁO TRÌNH ĐIỆN CÔNG NGHIỆP**

1- Điện kỹ thuật (sắp xuất bản)
2- Đo lường điện và điện tử (khổ 16x24) (đã xuất bản)
3- Khí cụ điện - Truyền động điện (sắp xuất bản)
4-Trang bị điện (sắp xuất bản)

*** GIÁO TRÌNH ĐIỆN TỬ TỰ ĐỘNG HÓA**

1- Lập trình với PLC Logo, Easy và S7-200 (khổ 16x24) (tái bản lần thứ 6)
2- Lập trình với PLC Zen, CPM2-A và Inverter Omron (tái bản lần thứ 4)
3- Cảm biến -Đo lường và điều khiển (khổ 16x24) (đã xuất bản)
4-Trang bị điện không tiếp điểm-Thang máy công nghiệp (sắp xuất bản)

*** GIÁO TRÌNH DẠY NGHỀ – HƯỚNG NGHIỆP** (khổ 14x20)

1- Sửa chữa Thiết bị Điện - Điện tử gia dụng (đã xuất bản)
2- Điện và Điện tử căn bản (đã xuất bản)
3- Điện tử công nghiệp và Cảm biến – Tập 1 (đã xuất bản)
4- Điện tử công nghiệp và Cảm biến – Tập 2 (sắp xuất bản)
5- Ampli – Lý thuyết và Thực hành (sắp xuất bản)

Giá: 26.000 đồng